

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



Escuela Politécnica Superior

Ingeniería Industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA

Diseño de una línea de montaje de modelo mixto según metodología lean manufacturing en John Deere Ibérica, S.A.

Autor: Miguel Ángel Macías Domínguez

Tutor: Mercedes Grijalvo Martín

Director: Bernardo Prida Romero

Codirector: José Antonio Campos Mesa



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN	2
1.1.- ENTORNO ACTUAL. NECESIDAD DEL <i>LEAN MANUFACTURING</i>.....	2
1.2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.3.- ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL TRABAJO	4
1.4.- PLANIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO 2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	6
2.0.- OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	6
2.1.- <i>JOHN DEERE & COMPANY</i>	6
2.1.1.- Historia.....	6
2.1.2.- <i>John Deere & Company</i> en la actualidad.....	7
2.2.- <i>JOHN DEERE IBÉRICA, S.A.</i>	8
2.2.1.- Historia.....	8
2.2.2.- <i>John Deere Ibérica, S.A.</i> en la actualidad	9
2.2.2.1.- Cajas Pesadas de Transmisión	9
2.2.2.2.- Cajas Ligeras de Transmisión	10
2.2.2.3.- Enganches Tripuntales y Mandos Finales.....	10
2.2.2.4.- Ejes y Engranajes	11
2.2.3.- <i>John Deere Ibérica, S.A.</i> Organización del Trabajo	12
2.2.3.1.- Fabricación celular. Ejemplo. Célula 149	13
2.3.- DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS. TRABAJO EN EQUIPO Y <i>DPS</i>.....	14
2.3.1.- Trabajo en equipo.....	14
2.3.1.1.- Antecedentes: El Sistema por incentivos	15
2.3.1.2.- Trabajo en equipo en <i>John Deere Ibérica, S.A.</i>	17



ÍNDICE

2.3.1.3.- Apoyo al departamento Trabajo en Equipo.....	20
2.3.2.- <i>Deere Production System</i>	20
2.3.2.1.- Apoyo al departamento <i>DPS</i>	21
CAPÍTULO 3. TÉCNICAS <i>LEAN MANUFACTURING</i> APLICABLES.....	22
3.0.- OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	22
3.1.- <i>LEAN MANUFACTURING</i>. DEFINICIÓN.....	22
3.2.- OBJETIVOS <i>LEAN MANUFACTURING</i>	24
3.3.- VALUE STREAM MAPPING	26
3.3.1.- Definición.....	26
3.3.2.- Desarrollo	27
3.3.3.- Implantación.....	31
3.4.- SISTEMA 5S'S	32
3.4.1.- Sistema 5S's. Definición.....	32
3.4.1.1.- <i>Seiri</i>	33
3.4.1.2.- <i>Seiton</i>	33
3.4.1.3.- <i>Seiso</i>	34
3.4.1.4.- <i>Seiketsu</i>	34
3.4.1.5.- <i>Shitsuke</i>	34
3.4.2.- Sistema 5S's. Implantación.....	34
3.5.- <i>SINGLE MINUTE EXCHANGE DIE (SMED)</i>	35
3.5.1.- <i>SMED</i> . Implantación	36
3.5.1.1.- Preparación del proyecto.....	36
3.5.1.2.- Recogida de datos.	36
3.5.1.3.- Análisis de las operaciones.	36
3.5.1.4.- Búsqueda de soluciones.	36
3.5.1.5.- Implantación.....	37



ÍNDICE

3.5.1.6.- Mejora continua.	37
3.5.1.7.- Difusión de resultados.	37
3.6.- ESTANDARIZACIÓN DEL TRABAJO	37
3.6.1.- Componentes de las operaciones estándar.	38
3.6.2.- Estandarización en el diseño de puestos de trabajo	38
3.6.2.1.- <i>Takt time</i>	39
3.6.2.2.- Secuencia de trabajo.....	39
3.6.2.3.- Cantidad estándar de trabajo en curso.....	40
3.7.- NIVELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	43
3.7.1.- Planificación de la producción	43
3.7.2.- Programa nivelado de producción.....	44
3.7.3.- Lanzamiento y control del programa diario producción	46
3.7.3.1.- Producción en pequeños lotes. Líneas multimodelo	46
3.7.3.2.- Producción mezclada. Líneas de modelo mixto.....	48
3.8.- SISTEMA <i>KANBAN</i>	51
3.8.1.- Sistema <i>Kanban</i> . Funcionamiento	51
3.8.2.- Sistema <i>Kanban</i> . Tarjetas <i>Kanban</i>	52
3.8.3.- Sistema <i>Kanban</i> . Cálculo del número de tarjetas.....	54
3.9.- CALIDAD (<i>QUALITY AT THE SOURCE</i>)	55
3.9.1.- Prevención.....	55
3.9.1.1.- Poka-yoke. Definición.....	55
3.9.1.2.- Poka-yoke. Métodos.....	56
3.9.1.3.- Poka-yoke. Clasificación métodos	57
3.9.2.- Detección.....	60
3.10.- MANTENIMIENTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN (<i>TPM</i>)	61
3.10.1.- <i>TPM</i> . Definición.....	61



ÍNDICE

3.10.2.- TPM. Objetivos	62
3.10.3.- TPM. Implantación.....	63
3.11.- FABRICACIÓN CELULAR.....	64
3.11.1.- Fabricación celular. Definición.....	64
3.11.2.- Fabricación celular. Implantación.....	64
3.11.2.1.- Fase previa.	65
3.11.2.2.- Fase de cambio a la fabricación celular.	65
3.11.2.3.- Fase de automatización	66
3.12.- MEJORA CONTINUA (KAIZEN).....	66
3.12.1.- Mejora continua. Implantación	67
3.12.1.1.- Primera etapa. Creación de la estructura organizativa	67
3.12.1.2.- Segunda etapa. Selección del proyecto	67
3.12.1.3.- Tercera etapa. Situación actual y formulación de objetivos.....	68
3.12.1.4.- Cuarta etapa. Diagnóstico del problema	68
3.12.1.5.- Quinta etapa. Formulación del plan de acción	68
3.12.1.6.- Sexta etapa. Implantación de mejoras	69
3.12.1.7.- Séptima etapa. Evaluación de resultados	69
3.13.- OTRAS TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING	69
3.13.1.- Control visual (<i>Visual management</i>).....	69
3.13.2.- Sistema <i>Andon</i>	70
3.13.3.- Verificación del proceso. <i>Jidoka</i>	71
3.14.- LÍNEAS DE MONTAJE.....	71
3.14.1.- Pequeña introducción histórica	72
3.14.2.- Tipos de líneas.....	73
3.14.3.- Diseño de líneas	74
3.14.4.- Equilibrado de líneas.....	76



ÍNDICE

3.14.4.1.- Heurístico 1	77
3.14.4.2.- Heurístico 2	77
3.14.4.3.- Heurístico 3. Ordenación ponderada de la posición.....	77
3.14.4.4.- Equilibrado de líneas en U	78
3.14.4.5.- Equilibrado de líneas con múltiples modelos.....	78
3.14.4.6.- Condiciones especiales en el equilibrado de líneas.....	79
 CAPÍTULO 4.- DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO	
ACTUAL DE LA LÍNEA	80
 4.0.- OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	80
 4.1.- CAJA DE CAMBIOS <i>PRODRIVE</i>	80
4.1.1.- Descripción del producto	80
4.1.2.- Funcionamiento y características mecánicas	81
4.1.3.- Montaje	83
 4.2.- MANDO FINAL <i>CRAWLER</i>.....	84
4.2.1.- Descripción del producto	84
4.2.2.- Funcionamiento y características mecánicas	85
4.2.3.- Montaje	86
4.2.4.- Análisis del funcionamiento actual	88
4.2.4.1.- Lay-out	88
4.2.4.2.- Aprovisionamiento interno.....	92
4.2.4.3.- Procesos.....	96
 CAPÍTULO 5.- PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO DE LÍNEA DE	
MONTAJE PARA LOS PRODUCTOS <i>PRODRIVE</i> Y <i>CRAWLER</i>	101
 5.0.- DEFINICIÓN DE PRODUCTOS	101
 5.1.- PREVISIÓN DE LA DEMANDA	102



ÍNDICE

5.1.1.- Caja de cambios <i>Prodrive</i>	102
5.1.2.- Mando final <i>Crawler</i>	103
5.2.- TIPO DE LÍNEA DE MONTAJE	105
5.3.- TAKT TIME.....	105
5.3.1.- Cálculo <i>Tiempo Diario Efectivo</i>	105
5.3.2.- Cálculo <i>Demanda Requerida</i>	106
5.3.3.- Cálculo <i>Takt time</i>	108
5.4.- DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS	108
5.4.1.- Caja de cambios <i>Prodrive</i>	109
5.4.2.- Mando final <i>Crawler</i>	111
5.5.- EQUILIBRADO DE LA LÍNEA	112
5.5.1.- Caja de cambios <i>Prodrive</i>	112
5.5.2.- Mando final <i>Crawler</i>	134
5.5.3.- Análisis líneas monoproducto	168
5.5.4.- Necesidad del equilibrado conjunto	171
 CAPÍTULO 6.- DISEÑO DE UNA LÍNEA DE MONTAJE DE MODELO MIXTO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS PRODUCTOS <i>PRODRIVE</i> Y <i>CRAWLER</i>.....	 172
 6.0.- OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	 172
6.1.- REESTRUCTURACIÓN PRODUCTO <i>CRAWLER</i>	172
6.2.- EQUILIBRADO CONJUNTO	191
6.3.- SECUENCIACIÓN DE MODELOS	197
6.4.- CÁLCULO DEL NÚMERO DE OPERARIOS	202
6.5.- SECUENCIA DE TRABAJO. RUTA ESTÁNDAR DE OPERACIONES	203



ÍNDICE

6.6.- CANTIDAD ESTÁNDAR DE TRABAJO	209
6.7.- SISTEMA DE APROVISIONAMIENTO.....	210
6.7.1.- Listas de materiales	210
6.7.2.- Sistema de aprovisionamiento.....	211
6.7.2.1.- Sistema de aprovisionamiento materiales consumibles	212
6.7.2.2.- Sistema de aprovisionamiento elementos críticos.....	213
6.8.- AJUSTE A LAS VARIACIONES DE LA DEMANDA	222
6.8.1.- Aumento de demanda.....	223
6.8.2.- Disminución de la demanda	223
6.9.- RECURSOS HUMANOS. POLIVALENCIA	224
6.10.- LAY-OUT.....	226
6.10.1.- Lay-out diseño	226
6.10.2.- Herramientas <i>Lean</i> en el Lay-out	231
6.10.2.1.- Control visual	231
6.10.2.2.- Sistema <i>Andon</i>	233
6.11. PUESTOS DE TRABAJO	233
6.12.- OTRAS TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING.....	238
CAPÍTULO 7.- CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS	239
7.0.- INTRODUCCIÓN	239
7.1.- LEAN MANUFACTURING EN JOHN DEERE. ANÁLISIS DE IMPLANTACIÓN	239
7.1.1.- Cambios en los Sistemas sociales	239
7.1.2.- Cambios en los Sistemas productivos	241
7.2.- VIABILIDAD DE IMPLANTACIÓN DEL ESTUDIO EN JOHN DEERE.....	242
7.3.- BENEFICIOS DE IMPLANTACIÓN	243
7.3.1.- Beneficios particulares	244



ÍNDICE

7.3.2.- Beneficios generales.....	245
7.4.- LÍNEAS FUTURAS DE ESTUDIO.....	246
BIBLIOGRAFÍA	247
ANEXO I. MODELO DE PUNTUACIÓN AUDITORÍA 5S'S	248
ANEXO II.-FIGURAS DESCRIPTIVAS <i>PRODRIVE</i>	250
ANEXO III.- LAY OUT ACTUAL <i>PRODRIVE</i>	253
ANEXO IV.- SECUENCIA DE EVENTOS <i>PRODRIVE</i>	254
ANEXO V.- FIGURAS DESCRIPTIVAS <i>CRAWLER</i>	281
ANEXO VI.- SECUENCIA DE EVENTOS <i>CRAWLER</i>	282
ANEXO VII.- EJEMPLO HOJAS ESTÁNDAR DE OPERACIONES.....	298
ANEXO VIII.- RUTA ESTÁNDAR DE OPERACIONES	300
ANEXO IX.- LISTAS DE MATERIALES <i>PRODRIVE</i>.....	301
ANEXO X.- LISTAS DE MATERIALES <i>CRAWLER</i>	311
ANEXO XI.- SEGURIDAD Y ERGONOMÍA LAY-OUT	312
ANEXO XII.- <i>LAY-OUT</i>	315



AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

A mi familia, mi madre, mi padre, mi hermano y mi mujer. Todo lo que consiga será gracias a vosotros...

...y para Hernán, mi hijo, que espero que algún día se encuentre en esta situación:
Agradeciendo su Proyecto Fin de Carrera.



Capítulo 1.- Introducción

1.1.- Entorno actual. Necesidad del *Lean Manufacturing*

Los sistemas productivos actuales se desarrollan en un entorno global cambiante, al cual, debido a la aparición de nuevos obstáculos, como la saturación de los mercados, el aumento de la competencia o las nuevas necesidades y exigencias del cliente objetivo, es necesario adaptarse para asegurar la supervivencia.

Los importantes avances en tecnología, comunicaciones y transporte, no son suficientes para asegurar la adaptación al medio. Las empresas deben cambiar sus obsoletas estructuras organizativas por otras más eficientes y apropiadas.

En las antiguas estructuras aparecen un gran número de costumbres erróneas o reinterpretables. Éstas constituyen el principal problema para el cambio necesario, ya que se encuentran profundamente ramificadas y arraigadas en las áreas organizativas de la empresa, lo que las hará resistentes al cambio.

Este cambio organizativo no debe ser planteado como una tarea superficial, ni ser implantado en áreas aisladas de la organización. Para superar la resistencia al cambio, debe ser planteado como un cambio cultural más que organizativo, en el que se necesitará el apoyo, la colaboración y el entendimiento de todas las áreas que formen el organigrama empresarial.

Es en este escenario, en el que las principales empresas y organizaciones mundiales deciden, para asegurar su supervivencia y alcanzar el liderazgo en su sector, implantar el enfoque de producción *Lean Manufacturing*.

Este enfoque comienza su desarrollo en Japón, al término de la II Guerra Mundial, como respuesta a la situación económica del país nipón, pero no es hasta mediada la década de los 70, con la crisis del petróleo de 1.974, cuando atrae la atención y la admiración de la comunidad industrial, debido a los logros económicos de las empresas japonesas, muy especialmente *Toyota* con la aplicación de su *TPS (Toyota Production System)*, piedra angular de esta filosofía.



El *Lean Manufacturing* emplea un conjunto de técnicas, que afectan a áreas concretas de la producción, unidas a una importante base cultural y rescata un concepto que, debido al aumento de la automatización de los procesos, se había perdido: la importancia de las personas.

Se menciona, debido a que el cambio hacia el enfoque *Lean* está vigente en muchas empresas, que muchas de las técnicas que utiliza están en continua revisión tanto en sus conceptos como en sus aplicaciones.

1.2.- Objetivos del proyecto

John Deere Ibérica es la encargada del montaje de la caja de cambios *Prodrive* y del mando final *Crawler*, para su posterior exportación a diferentes filiales del corporativo. Los procesos de montaje iniciales de estos productos, contienen diversas irregularidades, ya sea por encontrarse aún en fase de prototipo, como es el caso del primero, o por diferentes ineficiencias, como ocurre con el segundo.

En este escenario, la compañía se ve forzada a liderar un cambio de diseño en dichos procesos, con el objetivo de conseguir una mejora notable en términos de calidad y coste, cumpliendo con la demanda establecida, y sus variaciones, y consiguiendo una integración lógica con la cultura global de la organización.

El presente documento nace como un medio viable para alcanzar dicho objetivo, el cual hace suyo, con la intención de ser, en el futuro, la solución implantada por la compañía, de entre todas las propuestas presentadas por los diferentes departamentos y grupos de trabajo implicados, para su logro.

Resumiendo, se establece como objetivo del presente proyecto el diseño de una línea de montaje para el ensamblado de la caja de cambios *Prodrive* y del mando final *Crawler*, basado en la filosofía de producción *Lean Manufacturing*, resultando necesario, para el cumplimiento de dicho objetivo, que, el sistema diseñado, satisfaga la demanda establecida, para cada uno de los productos, siendo capaz de absorber variaciones de esta, por exceso o defecto, de hasta el 20%.



La línea diseñada debe mejorar las condiciones existentes, alcanzando los objetivos que el sistema *Lean Manufacturing* establece: cero defectos, cero averías, cero papel, cero plazos, cero accidentes, cero desperdicio de material y cero desperdicio de la capacidad del personal involucrado.

Los objetivos deben ser alcanzados siendo coherentes con la normativa general de la compañía a un mínimo coste.

1.3.- Estructura organizativa del trabajo

Para acometer el proyecto de mejora de las líneas de ensamblado, la compañía estableció una estructura formada por dos grupos de trabajo. Cada uno de ellos, se encargaría del desarrollo del proyecto en uno de los productos en exclusividad.

Cabe mencionar que los grupos de trabajo poseían una misma estructura, de la cual formaban parte todo el personal relacionado (operarios, supervisores, líderes de módulo, gerentes de minifábrica, personal de calidad, de ingeniería de planta, de compras...).

Durante la beca de colaboración, que acompañó la realización del presente documento, se formó parte, en mayor o menor medida, de los citados grupos de trabajo. En el caso del grupo encargado de la caja de cambios *Prodrive*, se realizaron actividades encaminadas a conocer en profundidad el ensamblado del producto (secuencia de eventos, documentación fotográfica). Menor fue la colaboración con el segundo grupo, ya que esta se limitó a asistir a diferentes reuniones, con un protagonismo prácticamente testimonial.

Conocida la situación de partida, resulta necesario resaltar que el desarrollo del proyecto se realiza de forma independiente, contando, por supuesto, con el imprescindible apoyo de todo el personal de la compañía.

1.4.- Planificación

Se menciona que la planificación, que a continuación se establece, deja a un lado la fijada por *John Deere Ibérica* para su proyecto, y únicamente engloba al que nos ocupa, debido, como se desprende de los párrafos anteriores, a que aunque ambos proyectos



Capítulo 1. Introducción

cuentan con similitudes inequívocas y parten del mismo problema, su distinto enfoque, filosofía y técnicas aplicadas los hacen diferentes e incompatibles.

El proceso de diseño de la línea de montaje transcurrirá en un plazo de veinte semanas, coincidiendo con la duración de la beca de colaboración que se realizó en las instalaciones de la compañía en Getafe.

Tabla 1.1. Planificación temporal

PLANIFICACIÓN	SEMANAS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Documentación <i>Lean</i>	■	■	■																	
Documentación <i>John Deere</i>				■	■	■														
Definición de productos							■													
Estandarización- <i>Takt time</i>								■												
Equilibrado									■	■	■									
Secuenciación de modelos												■								
Estandarización- <i>ruta estandar</i>													■	■						
Recursos humanos															■					
Lay out- Puestos de trabajo																■	■			
Mejora continua																		■	■	■



Capítulo 2.- Descripción general de la empresa

2.0.- Objetivos del capítulo

En este capítulo se introduce, en general, una visión global de la multinacional, y, en particular, una descripción detallada de la filial y de los departamentos en los que se ha colaborado, con el objetivo de familiarizarse con el organigrama corporativo y con las funciones y responsabilidades de los departamentos implicados en este proyecto fin de carrera, y como enlazan con los objetivos globales fijados.

También se realizará una breve descripción de los productos implicados, ya que no es objeto del presente estudio acometer un profundo análisis mecánico o funcional de los mismos. Por ello se determina no incluir en el presente documento ningún tipo de documentación técnica que pueda hacer olvidar los objetivos principales.

2.1.- *John Deere & Company*

2.1.1.- Historia

Se puede datar el nacimiento de la compañía en el año 1837, momento en el que *John Deere*, fundador de la compañía, fabrica el primer arado autolimpiable. A partir de ese momento, y hasta el año 1914, la compañía amplía sus líneas de producto llegando a cubrir una amplia variedad de aperos para la agricultura.

En el año 1914 *John Deere* fabrica su primer tractor para uso agrícola, es el llamado *Waterloo Boy*, que montaba motores de la compañía *Waterloo Gasoline Traction Engine Company*, empresa que en el año 1918 fue absorbida por *Deere & Company*, suponiendo el inicio de una de las actividades más relevantes de la compañía como es la fabricación de motores.

Durante todo el Siglo XX la diversificación de actividades siguió siendo una de las políticas más relevantes dentro de la compañía, así en 1920 comienza la comercialización de equipos ligeros de obras públicas, que llevaron en 1958 a la creación de la división industrial de *Deere & Company*. En dicho año se crea también



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

John Deere Credit, la división de la compañía destinada a financiar la adquisición de equipos por parte de sus clientes. La línea amarilla, como se conoce a la división de equipos industriales, crecería más adelante con los equipos de explotaciones forestales.

A mediados del Siglo XX la compañía, que hasta el momento había operado en el territorio norteamericano, decide expandir sus fronteras y abrir mercados hacia Europa, Australia y Sudamérica. En 1956 se crea la división de actividades de ultramar y, con la adquisición de las fábricas y otras instalaciones de la marca *Lanz*, se inician las actividades en el continente europeo. Al mismo tiempo se extienden las actividades hacia el sur creando la fábrica de *John Deere* en Monterrey (México). En 1959 se inician las actividades en el continente australiano.

En el año 1963 comienza a operar en el mercado de equipos para el cuidado de parques y jardines, y en el año 1987 se empiezan a comercializar equipos para campos de golf. En la última década del Siglo XX *John Deere* crea una división de nuevas tecnologías encaminada a diseñar y desarrollar soluciones que permitan aprovechar al máximo herramientas de última generación como Internet o el posicionamiento global por satélites (*GPS*).

Por otro lado, la expansión geográfica de la empresa ha continuado con la apertura de nuevas fábricas en La India y Turquía, y la expansión hacia países con un alto potencial de crecimiento como China.

2.1.2.- *John Deere & Company* en la actualidad

John Deere es el primer fabricante mundial de maquinaria agrícola y de equipos para el acondicionamiento de espacios verdes, y uno de los principales productores de maquinaria para construcción y explotaciones forestales. Las actividades de la compañía incluyen también la fabricación y comercialización de motores y transmisiones, servicios financieros, seguros y la división de nuevas tecnologías.

Actualmente *Deere & Company* se encuentra presente en todo el mundo y proporciona empleo directo a 47.000 personas aproximadamente, y dispone de una red de más de 60 fábricas y centros de producción, y más de 5.000 concesionarios para dar servicio a sus



clientes. Las acciones de *Deere & Company* cotizan regularmente en los mercados de Nueva York, Chicago y Frankfurt.

2.2.- John Deere Ibérica, S.A.

2.2.1.- Historia

La historia de *John Deere Ibérica, S.A.* comienza en la segunda mitad de los 50, cuando *Deere & Company* inicia su expansión en el continente europeo con la adquisición, como ya se ha comentado, de la marca alemana *Lanz*.

Entre las instalaciones que *Deere & Company* adquirió se encontraba la fábrica de tractores que *Lanz Ibérica* tenía situada en el madrileño municipio de Getafe. Dicha fábrica se destinó a la producción de tractores para el mercado español y así, en 1963, salió de la cadena de montaje el primer tractor *John Deere* fabricado en España, una unidad modelo *JD 505*.

Con el paso de los años, la fábrica de Getafe fue produciendo las distintas series de tractores de *John Deere*: Serie 10 (1963), la Serie 20 (1969), la Serie 30 (1973), la Serie 35 (1975), la Serie 40 (1980) y, finalmente, la Serie 50 (1987).

En el año 1987 se diversifica la actividad de la fábrica y, además de tractores, se empiezan a producir componentes para las demás cadenas de montaje de *Deere & Company*.

En el año 1988 la actividad de la unidad comercial de *John Deere Ibérica*, se diversifica mediante la creación de la nueva división de Espacios Verdes. La responsabilidad de esta nueva división, en un principio destinada a comercializar productos para el cuidado de jardines, se amplía en el año 1992 cuando se introducen en España los productos *John Deere* para el cuidado de campos de golf.

Para aprovechar las oportunidades que brinda la apertura de mercados europeos, en el año 1992 se decide centralizar la producción de los tractores de la nueva Serie 6000 en la factoría de *Mannheim* (Alemania). De esta forma, dos años más tarde sale de la fábrica de Getafe el tractor nº 181.558, una unidad *JD 2650 MA*, último tractor que



hasta hoy se ha producido en sus instalaciones. Desde ese momento la unidad de Getafe se especializa en la fabricación de componentes para el resto de las fábricas de *Deere & Company* en el mundo.

En 1994 *John Deere Ibérica, S.A.*, que hasta entonces operaba sólo en España, extiende su área de responsabilidad para productos agrícolas al territorio portugués. Desde entonces la penetración de *John Deere* en los distintos sectores del mercado portugués en los que participa, ha crecido continuamente.

2.2.2.- John Deere Ibérica, S.A. en la actualidad

John Deere Ibérica S.A., dispone en Getafe (Madrid) de una factoría para la producción de componentes que son exportados a otras fábricas de la compañía. Gracias al importante volumen de estas exportaciones, *John Deere Ibérica, S.A.*, figura entre las primeras empresas exportadoras de España.

Las instalaciones de la factoría ocupan una superficie cubierta de 60.000 m² sobre un área total de 20 hectáreas de parcela. La fábrica, en la que trabajan cerca de 800 personas, está constituida por 4 divisiones de producción especializada que incluyen diversos componentes y conjuntos de alta calidad. Estas minifactorías son: Ejes y Engranajes, Cajas Ligeras de Transmisión, Cajas Pesadas de Transmisión y Enganches Tripuntales y Mando Final.

2.2.2.1.- Cajas Pesadas de Transmisión

La factoría de Getafe produce una amplia variedad de cajas de transmisión para máquinas cosechadoras de cereales, algodón y forraje, producidas en *Harvester* y *Desmoines* (EE.UU.) y *Zweibrücken* (Alemania). En la figura 2.1 se muestra la cadena de montaje de la caja de cambios Tres Velocidades y la línea de pintura de la minifábrica. En esta última es reseñable su alto grado de automatización.



Figura 2.1. Líneas de montaje y pintura de cajas pesadas

2.2.2.2.- Cajas Ligeras de Transmisión

Las cajas ligeras de transmisión se montan en segadoras y tractores para espacios verdes, empacadoras, tractores agrícolas, maquinaria de siega y maquinaria de construcción.

Para la fabricación de estos componentes se lleva a cabo un complejo proceso de mecanizado de piezas y montaje. El perfecto funcionamiento de las transmisiones ligeras y pesadas se asegura sometiendo los conjuntos a estrictos controles de calidad y rigurosas pruebas, en las propias líneas de montaje final.

2.2.2.3.- Enganches Tripuntales y Mandos Finales.

La producción especializada de enganches tripuntales (Figura 2.2) y mandos finales para tractores de muy diversa potencia, está programada para atender la demanda de las factorías de tractores de *Mannheim* (Alemania), *Davenport* (EE.UU.) *Augusta* (EE.UU.), *Saltillo* (Méjico) y *Horizontina* (Brasil).



Figura 2.2. Fabricación y montaje de enganches tripuntales

2.2.2.4.- Ejes y Engranajes

El área de producción de ejes y engranajes fabrica piezas vitales para las divisiones de *John Deere* que producen en *Dubuque* y *Waterloo* (EE.UU.), *Saran* (Francia), *Torreón* (Méjico) y *Rosario* (Argentina) y realiza un aprovisionamiento interno de piezas necesarias en la propia fábrica de Getafe.

La materia prima son piezas de forja y aceros de alta calidad, y la clave de la fabricación de estos componentes se basa en una mecanización de precisión, minuciosidad en los procesos de tratamiento térmico y un control de calidad continuo y riguroso.

En la figura 2.3 se muestra, a modo de ejemplo, una célula de mecanizado de engranajes, cuya configuración es, a grandes rasgos, comparable a las existentes en el resto de la minifábrica.



Figura 2.3. Célula de fabricación de ejes y engranajes

2.2.3.- John Deere Ibérica, S.A. Organización del Trabajo

Hasta los años 80 *John Deere Ibérica, S.A.* usa los tradicionales medios de producción occidentales basados en distribuciones en planta más orientadas a las especialidades tecnológicas del proceso que al producto. Concretamente, hasta ese momento, los procesos de fabricación de piezas habían estado constituidos por la realización de múltiples operaciones individuales, en distintos departamentos especializados, separadas por almacenes intermedios de obra en curso, acabando el proceso de fabricación en un almacén final, desde dónde partían hacia las líneas de montaje de productos finales.

La orientación funcional condujo a un aumento de la complejidad de la fábrica y a una pérdida de visibilidad del propio flujo de materiales a través de los distintos departamentos especializados, desembocando, todo ello, en mayores plazos de fabricación, en incrementos del espacio en planta y del trabajo en curso, en aumentos de la dificultad de coordinación y programación de la producción, en desconexiones entre producción y demanda...

En esta situación se inició un cambio organizativo para la implantación de la fabricación celular (apartado 3.11), orientando la fábrica hacia el producto en vez de hacia los



procesos de fabricación, siguiendo la secuencia del flujo de materiales y ajustando las capacidades de las máquinas y la mano de obra a las necesidades de la demanda.

Con la implantación de la fabricación celular en fábrica, se consiguieron un gran número de beneficios entre los que se encuentran: reducciones de inventario y tiempos de ciclo, eliminación de movimientos intermedios, mejora en la calidad y flexibilidad del proceso.

2.2.3.1.- Fabricación celular. Ejemplo. Célula 149

La célula 149 se encuentra situada en la minifábrica de Ejes y Engranajes. La materia prima que alimenta a la célula es una pieza de fundición procedente de un proveedor externo, y el producto final del mecanizado es un engranaje con orificio central cilíndrico y dentado helicoidal. Tiene un diámetro exterior de 179,5 mm, consta de 60 dientes y su peso es de 3 Kg. Actualmente el volumen de producción es de 130.000 piezas anuales. Posteriormente al proceso de mecanizado, el engranaje debe recibir en tratamientos térmicos un proceso de cementación, con el que se aumenta el porcentaje de carbono en la pieza, aumentando, por consiguiente, su dureza.

En el mecanizado del engranaje intervienen las siguientes máquinas, ordenadas siguiendo la ruta del proceso de mecanizado (figura 2.4):

- a) Un Torno *Mazak Multiplex 420*
- b) Una Talladora *Liebbher LC 182*
- c) Una Rebarbadora *Samputensili*
- d) Una Brochadora y un marcador por impacto
- e) Una Afeitadora Hurth

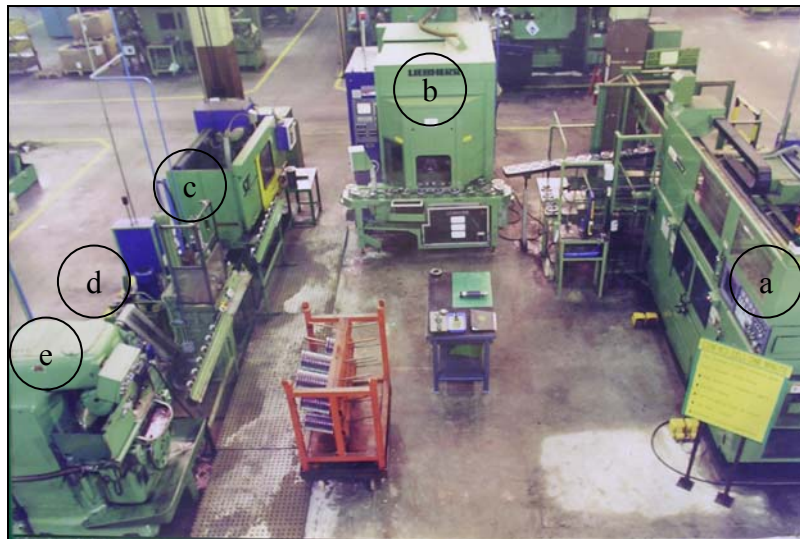


Figura 2.4. Célula de fabricación 149

2.3.- Departamentos involucrados. Trabajo en Equipo y DPS

John Deere Ibérica se estructura mediante una organización departamental jerárquica. Cada departamento (compras, marketing, contabilidad, fabricación, RRHH...) reporta a la Dirección General y se estructura, internamente, en diferentes áreas y subdepartamentos, manteniendo la coherencia jerárquica de la compañía.

La realización del proyecto se lleva a cabo con el apoyo y la inestimable colaboración del área de Trabajo en Equipo, dependiente del departamento de RRHH, y del departamento *DPS* (*Deere Production System*). Cabe mencionar que aunque el *DPS* se le ha dado el estatus de departamento, principalmente para dotarlo de recursos, tanto humanos como materiales, verdaderamente consiste en una filosofía productiva que afecta y está presente en todas las áreas organizativas y productivas de la compañía, creada bajo el enfoque y las prácticas *Lean Manufacturing*.

2.3.1.- Trabajo en equipo

En toda organización productiva resulta necesario implantar un sistema de trabajo justo, equitativo, controlable, simple de administrar y flexible, que permita alcanzar los principales objetivos de toda organización laboral:



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

- Trabajador justamente pagado en relación al desarrollo de su trabajo.
- Trabajo realizado en condiciones óptimas de seguridad.
- Calidad óptima del producto.
- Correcto uso de herramientas y útiles

El sistema de trabajo implantado en la organización será el que se aplicará en la línea de montaje a desarrollar, siguiendo los principios de equidad y justicia.

2.3.1.1- Antecedentes: El Sistema por incentivos

Durante más de cuarenta años, en las instalaciones de *John Deere Ibérica*, estuvo vigente la estructura organizativa conocida como Sistema por incentivos. Este sistema fue reemplazado progresivamente por el Trabajo en equipo, al no cumplir con los nuevos objetivos y principios de la organización, aunque en la actualidad aún existen operarios, aunque en número muy pequeño, cuyo salario es calculado mediante este sistema, debido, principalmente, a resistencias al cambio cultural.

El Sistema por incentivos se basaba en el pago en proporción directa al desarrollo del estándar. Con su aplicación se obtenían, en ese momento, beneficios en producción, tiempos, costes, productividad, competitividad, seguridad y precios de venta.

El estándar se define como el tiempo requerido para la fabricación o montaje de 100 piezas o componentes *John Deere*, por parte de un operario suficientemente cualificado. En su cálculo influirán una serie de factores y se expresará, en *horas estándar/100 piezas*.

Para el cálculo del estándar, en primer lugar, será de obligado cumplimiento realizar un estudio de tiempos. Con este estudio se cuantificará, mediante observación directa, el tiempo empleado, medido en minutos, por parte del operario cualificado, en realizar las tareas necesarias para la correcta fabricación o montaje de una unidad de la pieza en cuestión.



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

El tiempo de duración del proceso observado, se verá afectado por factores como: los diferentes métodos a aplicar en su desarrollo, la habilidad del operario, su esfuerzo o velocidad. Por ello resulta necesario multiplicar este valor por un ratio conocido como *Performance Rating*. Este ratio tomará, en función de los factores anteriores, valores comprendidos entre 0,8 y 1,3.

El valor obtenido del producto entre el tiempo observado y el *Performance Rating* se denominará tiempo normalizado.

Otro ratio que se debe tener en cuenta a la hora de calcular el estándar es el conocido como *Personal & Fatigue (P&F)*. Este ratio incrementa el tiempo normal permitido para desarrollar la tarea dando al trabajador el tiempo requerido para necesidades personales, descansos y recuperaciones. El valor mínimo que alcanza el *P&F* será un 10% del tiempo normalizado, valor que provee al operario, aproximadamente, de 48 minutos por turno de 8 horas para acometer las actividades que el *P&F* engloba.

El producto entre el tiempo normalizado y el *P&F* recibe el nombre de estándar en minutos por parte.

El último factor a tener en cuenta en el cálculo del estándar, englobará las interrupciones no medibles del trabajo, no relacionadas directamente con la producción o número de piezas producidas, como pueden ser las interrupciones del supervisor o ingeniero, caídas de herramientas, coger y dejar herramientas al principio y al final del turno, limpieza del puesto de trabajo...

Este factor conocido como *Job Delay* variará entre 1,04 y 1,06 en función de los diferentes procesos o montajes, y multiplicará, junto a los factores anteriormente definidos, al estándar en minutos por parte. Por último, y para la obtención del estándar en horas estándar/100 piezas, resultara necesario multiplicar y dividir, respectivamente, por los valores 100 y 60, la expresión obtenida:

$$\text{Estándar} = \frac{\text{Tiempo observado} * \text{Performance Rating} * P \& F * JD * 100 \text{ piezas}}{60 \text{ min/ hora}}$$



2.3.1.2.- Trabajo en equipo en *John Deere Ibérica, S.A.*

Trabajo en equipo se entiende como una forma de organización del trabajo, en la cual la coordinación de la responsabilidad individual se traslada al grupo de personas que trabajan en el mismo.

Teniendo en cuenta, que el mayor activo de la empresa, es su potencial humano, el Trabajo en equipo tiene como objetivo, la integración del trabajador en la empresa, facilitando su desarrollo tanto humano como profesional y mejorando continuamente sus condiciones de trabajo, al mismo tiempo que fomenta su participación en los objetivos de la empresa, mejorando la calidad y reduciendo los costes, consiguiendo, con todo ello, una mayor competitividad de la empresa y un aumento del beneficio empresarial.

Los miembros del equipo deben realizar funciones de: organización del trabajo, distribución de tareas, cambios de turno, pausas, administración del tiempo libre; proposición de mejoras de métodos, diseño, distribuciones en planta, áreas de trabajo; proposición de inversiones; proposiciones de formación; establecimiento de objetivos y seguimiento de los mismos; proposición de iniciativas que faciliten el desarrollo humano y profesional de los trabajadores del equipo y en general todas aquellas tareas que están relacionadas con el trabajo diario.

Cabe mencionar, en este punto, que las prioridades de trabajo las fija la dirección, ya que en este ámbito no es posible la regulación de los trabajadores al no ser ellos responsables de las entregas.

Para el completo desarrollo de esta organización del trabajo, una condición necesaria, entre sus miembros, es la polivalencia. Polivalencia se refiere a la cualidad de los trabajadores para realizar cualquier operación de las necesarias para la fabricación de los productos bajo la responsabilidad del equipo. Este concepto permite, como se verá con detalle en adelante, la rotación (apartado 5.11) y el flexeo (punto 3.6.2.3) entre puestos, la autoinspección (apartado 3.9.2) y en general un mejor funcionamiento del equipo y de la organización.



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

La remuneración salarial consta de una parte fija o base, a definir antes de la puesta en marcha del equipo, y de otra parte variable según el rendimiento. El rendimiento se refiere a la efectividad, definida esta como la relación entre el *output* y el *input*.

$$Efectividad = \frac{Output}{Input}$$

El *output* es la suma de creación de valor en el producto por parte de los trabajadores en un periodo de tiempo previamente establecido, siendo el *input* la suma del valor de los trabajos realizados por los trabajadores para fabricar el producto dentro de un intervalo de tiempo, igualmente establecido. Es preciso que estas dos magnitudes se puedan medir y los trabajadores puedan influir en las mismas, por ello, y para el cálculo de la efectividad, sus valores serán:

$$Output = \text{horas productivas de las piezas buenas}$$

$$Input = \text{horas de presencia}$$

Para una mejor comprensión del concepto de efectividad, se propone el siguiente ejemplo:

En una determinada célula de fabricación se mecaniza la referencia X, cuyo estándar tiene un valor de 5,61 horas estándar/100 piezas. En dicha célula trabajan 2 operarios en cada una de los dos turnos, mañana y tarde, existentes. Cada turno se desarrolla en un periodo de ocho horas: entre las 6.00 horas y las 14.00 horas el primer turno y entre las 14.00 y las 22.00 horas el segundo

A lo largo de una determinada semana, el trabajo se desarrolla con normalidad hasta la aparición el jueves a las 17.00 horas de una incidencia no imputable al operario (avería, falta de material o herramienta), la cual no permite ningún *output* (no se produce en la célula) hasta las 20.00 horas del viernes.



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

Los datos correspondientes a las horas *input* de cada operario, durante la semana en cuestión, se reflejan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Ejemplo. Horas *input* por día de la semana y operario

Operario	Turno	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Horas total semana
1	Mañana	8 h	8 h	8 h	8 h	0 h	32 h
2	Mañana	8 h	8 h	8 h	8 h	0 h	32 h
3	Tarde	8 h	8 h	8 h	4 h	1 h	29 h
4	Tarde	8 h	8 h	8 h	4 h	1 h	29 h
Inputs (horas de asistencia)		32 h	32 h	32 h	24 h	2 h	122 h

Los operarios, durante el período considerado, y debido al lógico proceso productivo, obtienen un número variable, dependiente del día, de piezas buenas. Los datos se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Ejemplo. Piezas buenas mecanizadas por día de la semana y turno

Hrs. Estándar Ref. X	Turno	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Piezas totales
5,61 h	Mañana	4 pzas	4 pzas	3 pzas	3 pzas	0 pzas	14 pzas
5, 61 h	Tarde	3 pzas	3 pzas	4 pzas	1 pzas	0 pzas	11 pzas
Piezas totales	Tarde	7 pzas	7 pzas	7 pzas	4 pzas	0 pzas	25 piezas
Output (nº piezas x Hrs Estándar)		39, 27	39,27	39,27	22,44	0	140,25 horas



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

Por todo lo anterior y siguiendo la expresión vista con anterioridad, se puede obtener un valor de la efectividad del grupo durante la semana determinada:

$$Efectividad = \frac{Output}{Input} = \frac{140,25 \text{ horas estándar}}{122 \text{ horas}} = 1,15$$

Este valor indica que el rendimiento del grupo ha sido un 15% mayor de lo esperado y este incremento, según tablas internas de la compañía, se verá reflejado directamente en su remuneración.

2.3.1.3.- Apoyo al departamento Trabajo en Equipo

Wplanner es el *software* utilizado por el corporativo como apoyo a la fabricación. En él se puede encontrar toda la información necesaria para el correcto montaje o mecanizado de las diferentes referencias.

Durante una de las fases del proyecto fue necesaria la toma de datos del montaje de los diferentes productos implicados (información referente al montaje y al uso de herramientas, secuencia de eventos, información gráfica...). Datos que, posteriormente, para su correcta visualización y entendimiento, se introdujeron en *Wplanner*, para su utilización por parte del personal implicado.

2.3.2.- Deere Production System

Deere Production System es la estrategia mundial de manufactura definida por *Deere & Company* para todas sus fábricas. Es una cultura de trabajo basada en la Mejora continua de los procesos en la que participan todos los empleados y está construida sobre principios de producción de clase mundial. Define el estado ideal al que se desea llegar, provee soluciones concretas a los problemas de fábrica, utiliza las mejores prácticas a nivel internacional y permite medir la mejora.

Deere Production System se divide en una serie de elementos a los que asigna unas iniciativas concretas:

- Liderazgo/Administración del Cambio



Capítulo 2. Descripción general de la empresa

- Planificación de la Producción
- Ambiente de Trabajo
- Formación
- Logística de Materiales
- Procesos Estructurados de Operación
- Calidad
- Disponibilidad de la Operación
- Tecnología de Manufactura y Procesos
- Medibles

El diseño e implantación de la línea de montaje de modelo mixto, que es el principal objetivo del presente texto, no puede ser ajena a los principios que difunde el *Deere Production System*, y debe cumplir los requisitos a los que el sistema de producción obliga. Por ello el diseño debe realizarse en proximidad a dicho departamento para asegurar el cumplimiento de toda la normativa establecida.

El cumplimiento o no del sistema productivo de la compañía no es un tema menor, ya que el corporativo realiza auditorias externas periódicas, con las que califica a las diferentes filiales en diferentes categorías de confianza. Las filiales mejor posicionadas consiguen un mayor número de productos para su producción, con lo que aseguran su supervivencia.

2.3.2.1.- Apoyo al departamento *DPS*

Durante la realización del proyecto se llevaron a cabo trabajos de apoyo al departamento *DPS*, concretamente en el área de 5S's, realizando auditorias (Anexo I), para medir la evolución y los resultados de la implantación, y presentaciones, que fueron utilizadas durante la auditoria del corporativo para la certificación de la compañía en *DPS*.



Capítulo 3. Técnicas *Lean Manufacturing* aplicables

3.0.- Objetivos del capítulo

Lean Manufacturing es el enfoque base del presente proyecto. Por ello resulta necesario definirlo y realizar un análisis de sus principios y de sus principales objetivos.

En este punto, tras una breve definición del enfoque y de sus objetivos, se enumerarán las técnicas *Lean* utilizables en el presente documento. Es necesario resaltar que algunas de ellas no serán utilizadas, ya que su implantación no se encuentra entre los objetivos del proyecto. No obstante serán definidas, para ayudar a la comprensión del enfoque *Lean*, y para remarcar las sinergias existentes entre dichas técnicas, y hacer comprender que ninguna técnica *Lean* debe ser implantada aisladamente, sino que debe considerarse parte de un “todo”, cuyo objetivo final es el cambio cultural en la organización.

3.1.- *Lean Manufacturing*. Definición

Muchas son las definiciones y descripciones, la mayoría erróneas, utilizadas para definir el enfoque *Lean*. Al adquirir un conocimiento profundo de su propósito, una frase es suficiente para su definición: “es un sistema para eliminar absolutamente el despilfarro”.

El sistema identifica siete diferentes clases de despilfarros:

- **Transportes:** las actividades de transporte nunca añaden valor. Por tanto, debemos empezar reduciendo la necesidad de transporte mejorando la distribución en planta de las máquinas. El próximo paso será hacer más racionales los medios de transporte.
- **Retrasos:** los desajustes entre los ritmos de producción y movimiento de materiales en distintos lugares de los procesos generan colas y esperas. La acción de anticipar producción para ocupar las máquinas inactivas, cuando se han acabado las tareas oculta los tiempos de espera y distorsiona la información sobre la capacidad real existente en el sistema.



- **Stock:** la relación entre el período entre pedido y entrega y el ciclo de producción ejerce una influencia considerable en el inventario de productos. Si el primer período es sustancialmente más corto que el segundo, la producción tiene que guiarse por especulaciones, lo que hace inevitable el crecimiento de los *stocks* de productos.

El incremento del inventario vendrá acompañado de un aumento de los costes y de una importante ocultación de las causas raíz de los problemas que afectan al sistema.

- **Procesos:** no todos los procesos que se realizan en el proceso productivo son necesarios y a veces pueden evitarse.

En este punto toma radical importancia la automatización de procesos.

- **Defectos:** la presencia de defectos suponen pérdidas de material, aumento del riesgo de accidentes, averías en los equipos y, si el producto llega al cliente, importantes pérdidas en garantías e imagen.
- **Movimientos despilfarradores:** resulta necesario mejorar profundamente los movimientos de los trabajadores. Se tiende a observar solamente los aspectos superficiales de las operaciones. Sin embargo, como el tiempo es meramente un reflejo del movimiento, nuestros esfuerzos de mejora deben dirigirse, en primer lugar, a los movimientos fundamentales de las operaciones, más bien que apresuradamente considerar las mejoras en los equipos.

En general, debemos otorgar una seria consideración al principio de entregar las piezas necesarias solamente cuando se necesitan, una cada vez.

- **Vigilancia de máquinas automáticas:** produce la acumulación de recursos, con el consiguiente aumento del coste y la desmotivación para la resolución de problemas.

El enfoque *Lean* diferencia tres tipos diferentes de causas que son consideradas como el origen de todo despilfarro:



- **Muri (exceso):** toda producción que se realiza sin que exista un pedido por parte del cliente.
- **Mura (irregularidad):** aparece al intentar conectar procesos independientes, con tecnologías distintas, ritmos de trabajo diferentes, gobernados por departamentos distintos que aplican políticas variadas.
- **Muda (desperdicio):** cualquier actuación que añade más recursos de los necesarios o suponga la realización de actividades que no añadan valor al producto final.

3.2.- Objetivos *Lean Manufacturing*

El sistema *Lean* establece una serie de objetivos, claros y concisos, que deben guiar el cambio cultural en la organización. Cabe mencionar que todos los objetivos marcados por el enfoque están íntimamente relacionados. El avance o retroceso en la consecución de uno de ellos provocará efectos, en el mismo sentido, en el resto.

- **Cero defectos:** la falta de calidad en los procesos es una de las principales causas de despilfarro en las organizaciones productivas.

Para abordar este objetivo será necesario formar a todas las personas involucradas en el proceso, para que realicen sus tareas con calidad y aprendan a identificar fallos, buscar sus causas e implantar medidas correctoras para evitar su reaparición.

- **Cero averías:** todas las organizaciones coinciden en considerar a las averías como indeseables. Muchas de estas organizaciones permiten la aparición de averías. Consideran poco rentable el avance hacia el cero, debido al incremento de costes que suponía.

El alcance de este objetivo no debe pasar por la inversión en equipos caros y tecnológicamente complejos, sino por la implantación de sistemas apropiados, que permitan avanzar en el conocimiento de los equipos e incorporen un correcto plan de mantenimiento.



- **Cero papel:** el despilfarro de papel es algo común en la gran mayoría de las empresas, a lo que hay que unir que su uso implica tratamiento manual de la información, actividad que fomenta la aparición de errores.

Será necesario, para abordar este objetivo, la implantación de sistemas de información, pero siempre con especificaciones acordes con la organización productiva.

- **Cero accidentes:** los accidentes laborales, como pueden ser accidentes propiamente dichos o diferentes tipos de efectos en el medio ambiente, provocan, desde un punto de vista humano daños a los trabajadores y a otros grupos sociales, y desde un punto de vista productivo, un descenso en la producción.

Resulta necesario aumentar la seguridad en toda la organización mediante la implantación de la normativa correspondiente.

- **Cero desperdicio de recursos:** en este punto se resume todo el despilfarro de cualquier tipo de recurso utilizado por el sistema.

Resultará necesario gestionar y eliminar cualquier desperdicio generado en la organización.

- **Cero desperdicio de la capacidad del personal:** en la actualidad, dónde la formación y capacidad de los operarios ha aumentado considerablemente, respecto a mediados del siglo pasado, muchas organizaciones emplean a sus trabajadores en puestos de escasos requerimientos y poco motivadores. Se provoca una desmotivación generalizada y una falta de iniciativa y compromiso para con la organización.

Si hubiera que fijar un objetivo estrella, sin lugar a dudas, este sería el que nos ocupa, ya que como dicen muchas empresas: “los recursos humanos es el principal activo de toda organización”. De este objetivo nace la base y el compromiso para alcanzar el resto.



Para su consecución será necesario afrontar y poner en prácticas dos sencillos principios: formación y participación.

- **Cero stock:** históricamente muchas empresas han optado por mantener un stock importante, a sabiendas del coste que esto supone, lo que les impedía afrontar los problemas que golpeaban su estructura e implantaban una cultura basada en amortiguar las dificultades y no enfrentarlas.

El inventario tiene las características de esconder los problemas que afectan al sistema y su evolución puede ser una medida del avance en la implantación del *Lean Manufacturing*.

3.3.- Value Stream Mapping

3.3.1.- Definición

El *Value Stream Mapping*, el mapa de la cadena de valor, es un documento físico que resulta del sencillo método de representar gráficamente la cadena de valor. Tan importante es el mapa como su proceso de elaboración, que nos enseña a observar adecuadamente para poder eliminar las causas raíz del despilfarro.

Siempre que se entrega un producto o un servicio a un cliente, hay detrás una cadena de valor. Valor es aquello por lo que el cliente está dispuesto a pagar. La cadena es el conjunto de acciones (con y sin valor añadido) que han sido necesarias para, moviendo el producto a través de toda la organización, es decir, a través del diseño, la producción y distribución y la gestión administrativa, hacerlo llegar finalmente al cliente.

El *VSM* se comenzó a utilizar fuera de *Toyota* a partir de 1998, y se ha convertido, sin lugar a dudas, en herramienta vital del viaje a recorrer por cualquier organización que persiga la implantación del *Lean Manufacturing*.

En el *VSM* se representa tanto el flujo de materiales como el flujo de información y las relaciones que existen entre ellos. Es una herramienta cualitativa sencilla que permite una visión panorámica de toda la cadena de valor.

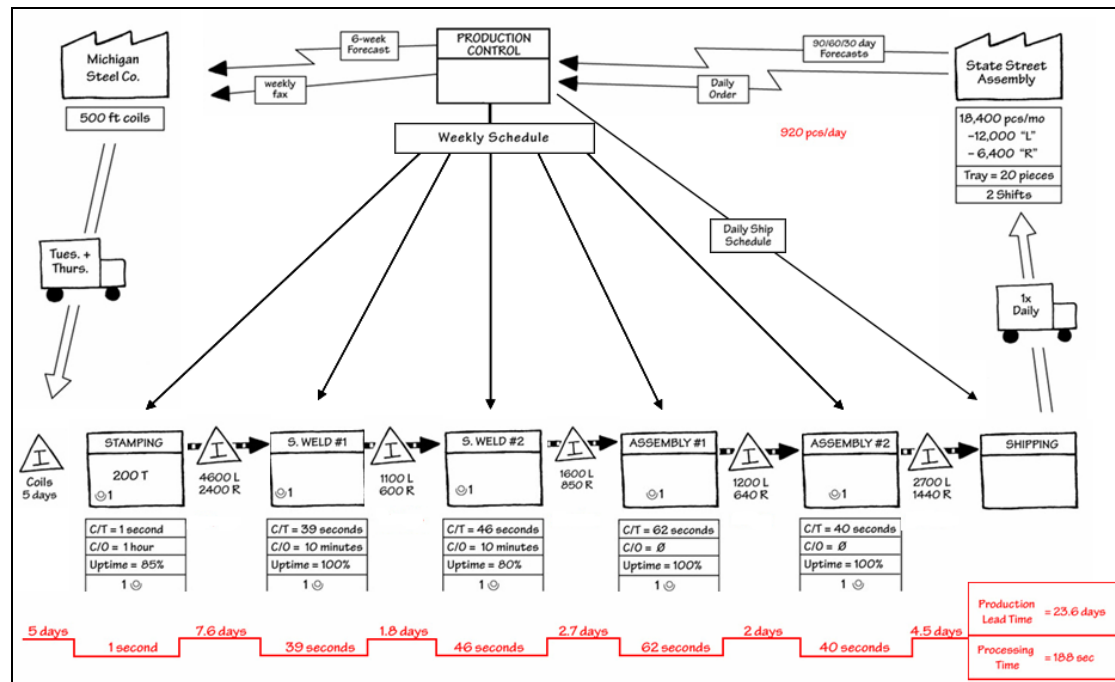


Figura 3.1. Value Stream Mapping

3.3.2.- Desarrollo

El VSM se elabora para una determinada familia de productos, ya que el dibujo de los flujos de las todas las referencias sería inabordable. Una vez seleccionada la familia, se comienza a confeccionar el mapa. Para la explicación de su desarrollo, se utilizará, a modo de ejemplo, el mapa de la figura 3.1, donde se observa la configuración típica de un VSM. Cabe mencionar que dicho ejemplo no pertenece a ninguna de las familias de productos fabricados en *John Deere Ibérica*, y su utilización únicamente radica en su claridad y carácter didáctico.

Como paso inicial se representa al cliente, en este caso *State Street Assembly*, en la parte superior derecha, mediante un icono *factory*. Debajo de dicho icono, se representan los requisitos del cliente, que, en este caso, son 18.400 piezas mensuales servidas en contenedores de 20 piezas. En este cuadro, se puede también observar que la familia está formada por dos diferentes productos, denominados *L* y *R*, cuya demanda mensual es respectivamente 12.000 y 6.400 piezas semanales, y que el cliente trabaja a dos turnos.



El siguiente paso consiste en la representación, de izquierda a derecha, de los diferentes procesos, necesarios para la fabricación de la familia de productos. Con esto se establece el flujo del material desde su llegada, como componente, desde los distintos proveedores, hasta su salida, como producto terminado. Debajo de cada proceso aparecerá un cuadro de datos, donde se recogerá información referente a cada uno de ellos, como: el número de operarios, el tiempo de ciclo (C/T) o tiempo que transcurre entre la entrada o salida de dos unidades de producto en la línea, el tiempo de preparación (C/O) o tiempo necesario para pasar de producir un producto de la familia a otro, *uptime* o porcentaje de tiempo que la máquina está disponible para trabajar. Aunque estos son los datos que comúnmente aparecerán, se pueden encontrar mapas con una información más amplia.

Si se continúa con el ejemplo, y, para no ser repetitivos, se toma únicamente la operación inicial, se observa que la citada operación consiste en un estampado a una presión de 200 toneladas en la que participa un único operario, cuyo tiempo de ciclo es de 1 segundo, el tiempo de preparación es de una hora y el *uptime* o rendimiento del proceso es del 85%.

Resulta necesario aclarar que este último concepto, el *uptime*, se refiere al porcentaje del tiempo que la máquina está disponible para procesar. En la operación inicial, como ya se ha comentado, es del 85% del tiempo, debido a que la estampadora necesita, en este caso, un 15% del tiempo para tareas relacionadas con la recuperación, ajustes, cambio de útiles, etc. Para su cálculo en otros casos, únicamente bastará con realizar un estudio mediante inspección visual directa, cámaras u otros equipos, que, en un tiempo significativo, muestre el porcentaje de tiempo en que la máquina está operativa.

Para la correcta realización del mapa, resulta necesario reflejar la existencia de inventario entre los diferentes procesos mediante el icono correspondiente (la letra *I* encerrada en un triángulo), junto con el número de piezas que forman dicho inventario. Si la cantidad de inventario no se puede representar por número de piezas, como ocurre en el *stock* existente entre el proveedor y la primera operación donde el producto son *coils* (bobinas de acero), éste se representará mediante el número de días durante los que se puede hacer frente a la demanda del cliente con esa cantidad de producto.



Capítulo 3. Técnicas *Lean Manufacturing* aplicables

Si se continúa observando la figura 3.1, se puede ver que el inventario existente entre la primera operación (*stamping*) y la segunda (*well #1* o primer soldado) es de 4.600 unidades del producto *L* y 2.400 del *R*.

El siguiente paso del proceso de elaboración del *Value Stream Mapping* consiste en la introducción de información referente a los proveedores y a la logística de entrada y salida.

Respecto a los proveedores, el icono que los representa será idéntico al utilizado para los clientes, y debajo de este, aparecerá información referente al tamaño de lote. En el caso, un único proveedor *Michigan Steel Company* suministra el material en lotes de 500 pies de acero.

En referencia a la logística, los movimientos de material entre fábricas, ya sea entre proveedores o clientes, se representará mediante un vehículo, e indicará el número de veces que se realiza por semana. En la figura *Michigan Steel Company* realizará dos entregas semanales, martes y jueves, mientras el cliente recibirá su pedido semanalmente.

Se menciona que entre los clientes y los proveedores, resulta necesario representar al departamento de Control de Producción (*Production Control*), que será el encargado del control del flujo de información entre estos y el departamento de fabricación.

Una vez alcanzado este punto, resulta necesario representar gráficamente los flujos de información y procesos. Para una correcta comprensión, se explican los principales iconos utilizados para la representación de flujos:

- **Flecha recta:** flujo de información manual.
- **Flecha oblicua:** flujo de información electrónico (EDI, Localized Computer Scheduling, etc.).
- **Flecha ancha con relleno:** flujos *push* de material.
- **Flecha ancha sin relleno:** flujo de material con clientes o proveedores.



Los iconos de flujo de la figura y los cuadros de información que contienen indican que:

- El departamento de control de producción recibe del cliente, diariamente y en formato electrónico, un pedido en firme y una previsión de pedidos a 30/60/90 días. Toda esta información se procesa dentro del citado departamento.
- Control de producción envía semanalmente al proveedor, mediante fax, un pedido en firme, y mediante formato electrónico la previsión de pedidos con un horizonte de seis semanas.
- Cada proceso de fabricación recibe semanalmente, de forma manual, la programación, procedente del control de producción.
- El departamento de expedición (*shipping*) recibe la programación diariamente.

El último paso en la realización del *VSM* es la cuantificación del *MCT* (*Manufacturing critical path time*). El *MCT* se representa en la parte inferior del mapa, mediante segmentos que permiten distribuir los tiempos en dos filas. En la fila inferior se sitúan los tiempos que añaden valor. Estos corresponden a los tiempos de ciclo de los diferentes procesos y su suma da como resultado el Tiempo de valor añadido (*Processing time*). En los segmentos superiores, se sitúan los tiempos que no añaden valor y con su suma se obtendrá el *Lead time de producción* (*Production lead time*). La comparación entre los tiempos totales de valor añadido y totales de valor no añadido es esclarecedora, siempre sorprendente y además un excelente indicador del potencial de mejora.

Para la comprensión del cálculo de los tiempos que no añaden valor se incluye el siguiente cálculo, correspondiente al inventario existente entre el estampado y la primera soldadura:

$$\text{Tiempo} = \frac{(4600 \text{ piezas} + 2400 \text{ piezas}) * 20 \text{ días} / \text{mes}}{18400 \text{ piezas} / \text{mes}} = 7,6 \text{ días}$$



Este tiempo representa el número de días que se puede hacer frente a la demanda del cliente con esa cantidad de *stock*.

Como último apunte, resulta necesario mencionar, que los datos se deben recoger sobre el terreno, reflejando la realidad y desconfiando de los datos facilitados por el sistema de información o por los procedimientos ya existentes.

3.3.3.- Implantación

La obtención del *VSM* del estado actual, la cadena de valor a día de hoy, es el primer paso. Su elaboración recaerá sobre un equipo multidisciplinar, dirigido por algún miembro del equipo o un consultor externo que mantenga la visión global de toda la cadena de valor.

El siguiente paso consiste en identificar modos de mejorar los flujos tratando de eliminar las causas raíz del desperdicio utilizando así el tiempo, talento y recursos de manera más eficiente. Esto conllevará a un mejor conocimiento de la organización. Para poder llevar a cabo este paso será preciso conocer más en profundidad las posibilidades que ofrece el *Lean Manufacturing*. Esta sencilla pero eficaz herramienta que es el *VSM* proporciona un lenguaje común, facilita la comunicación y el consenso entre todos los niveles de la organización sobre dónde y por qué conviene realizar acciones tales como implantaciones de sistemas *Kanban*, Células de trabajo, *TPM*, *SMED*, *5S*, etc. El *VSM* vincula los conceptos y técnicas *Lean Manufacturing*, que inicialmente pueden parecer más dispares e inconexas de lo que en realidad son, y nos ayuda a ver las auténticas fuentes de desperdicio. Este segundo paso conducirá a la representación del *VSM* del estado futuro, otro mapa que representa dónde se quiere estar dentro de un mes o dentro de un año.

El tercer paso consiste en desplegar el plan de acción con objetivos, plazos y responsables, tratando de simplificar y mejorar la cadena de valor por segmentos. Se evita de esta manera el empleo aleatorio de herramientas *Lean*. Se emplearán aquellas herramientas que se necesiten, donde se necesiten y cuando se necesiten. Se revisa la implantación de las acciones mediante un plan de seguimiento. Estas acciones conducirán a una reducción del trabajo en curso, plazos de entrega, agrupación de



tareas, reducción de defectos o errores, respuestas más rápidas ante los cambios de cliente...

3.4.- Sistema 5S's

3.4.1.- Sistema 5S's. Definición

Un programa 5S's se refiere a un conjunto de actividades encaminadas a actuar directamente en la organización de los puestos de trabajo, que por su sencillez permiten la participación de todos a nivel individual/grupal, mejorando el ambiente de trabajo, la seguridad de personas y equipos, la productividad y la eficiencia.

Entre las ventajas que nos aporta la implantación de las 5S's podemos destacar:

- La implantación de las 5S's se basa en el trabajo en equipo. Permite involucrar a los trabajadores en el proceso de mejora desde su conocimiento del puesto de trabajo. Los trabajadores se comprometen y se valoran sus aportaciones y conocimiento.
- Manteniendo y mejorando asiduamente el nivel de 5S's conseguimos una mayor productividad que se traduce en:

Menos productos defectuosos

Menos averías

Menos accidentes

Menor nivel de existencias o inventarios

Menor número de movimientos

Menor tiempo de cambio de herramientas

- Mediante la organización, el orden y la limpieza, logramos un mejor lugar de trabajo, puesto que conseguimos:



Más espacio y mejor imagen

Mayor cooperación y trabajo en equipo

Mayor compromiso y responsabilidad en las tareas

Mayor conocimiento del puesto de trabajo

El sistema 5S's sigue un proceso en cinco etapas, cada una de las cuales se identifica con una S, que a su vez representa un principio a alcanzar:

- **1ª S. *Seiri*:** Arreglo metódico y eliminación de lo inservible
- **2ª S. *Seiton*:** Orden
- **3ª S. *Seiso*:** Limpieza
- **4ª S. *Seiketsu*:** Estandarizar
- **5ª S. *Shitsuke*:** Disciplina y entrenamiento

3.4.1.1.- *Seiri*

Esta etapa tiene como fin la eliminación de los elementos que no se usan o que es improbable que se usen. Para ello será necesaria su identificación, realizando un análisis exhaustivo sobre las causas de su existencia y diseñando un plan de acción para evitar que dichos objetos vuelvan a aparecer.

Respecto a aquellos elementos necesarios en el puesto de trabajo han de clasificarse según su frecuencia de uso en elementos de uso débil, medio y fuerte.

3.4.1.2.- *Seiton*

Una vez eliminados aquellos elementos innecesarios, es preciso organizar los elementos necesarios, estableciendo normas de orden, de forma que cualquiera pueda comprender, fácilmente, la disposición de los elementos y se permita un acceso a ellos rápido y fácil.



3.4.1.3.- Seiso

La tercera S tiene como objetivo la limpieza del lugar de trabajo de polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, con el fin de que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Se debe tener en cuenta que no basta con realizar una limpieza periódica, que el objetivo es poder mantener todo en perfecta estado, integrando la limpieza en los hábitos y procedimientos de trabajo, convirtiéndola en inspección.

3.4.1.4.- Seiketsu

A partir de la cuarta S las operaciones a realizar cambian, ya que no se trata de realizar actividades puntuales sino que se pretende cambiar las rutinas de los operarios para mantener el estado logrado. Este cambio se logra con la estandarización, simplificación y actuación preventiva sobre los procedimientos empleados en las tres primeras S's.

El objetivo de la estandarización consiste en distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales, basados en los comportamientos defectuosos detectados en revisiones anteriores.

3.4.1.5.- Shitsuke

La correcta implantación del método exige disciplina y entrenamiento para crear y mantener las normas de funcionamiento que lleven a una disposición del taller lógica y sencilla.

La disciplina y el entrenamiento continuo deben servir para crear y mantener las normas y rutinas de eficiencia y seguridad en los puestos de trabajo.

3.4.2.- Sistema 5S's. Implantación

Para la implantación será necesario la formación de un equipo de trabajo, coordinado por un jefe de proyecto que se encargue, además de suministrar al equipo la formación necesaria, de analizar las acciones de mejora propuestas, asignar los recursos necesarios y de difundir, y en su caso premiar, las mejores prácticas entre grupos de trabajo



Es necesario no olvidar que uno de los elementos clave del sistema es conseguir cambiar las actitudes y rutinas de los operarios para evitar que las costumbres adquiridas en el proceso desaparezcan, por lo que su participación activa en el proceso de implantación, desde sus comienzos, se hace indispensable, gestionando su propio entorno de trabajo con la ayuda del supervisor.

3.5.- *Single minute exchange die (SMED)*

El sistema *SMED* (*Single minute exchange die*) es un conjunto de técnicas empleadas para reducir los tiempos de preparación de máquinas o procesos a cifras de un único dígito y permitir así reducir el tamaño del lote mínimo.

Se define tiempo de preparación como el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza correcta de la serie siguiente, no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

SMED sigue un proceso dividido en varias etapas:

- **Primera etapa:** se debe estudiar el proceso o tarea, con el fin de conocer las condiciones reales de preparación, mediante entrevistas, cronometrajes, muestreos y grabaciones.
- **Segunda etapa:** se deben identificar y clasificar las diferentes operaciones de preparación en:
 - Externas: operaciones que pueden ser realizadas con la máquina en marcha.
 - Internas: aquellas que deben realizarse con la máquina parada.
- **Tercera etapa:** en esta etapa se debe intentar, en la medida de lo posible, convertir operaciones internas en externas.
- **Cuarta etapa:** consiste en reducir el tiempo de preparación de las operaciones internas lo máximo posible.



- **Quinta etapa:** esta última etapa trata de reducir el tiempo de preparación de las operaciones externas.

Cabe mencionar que una vez diseñado el nuevo procedimiento de preparación de cambios de útiles y herramientas, se debe formar, en su aplicación, a los operarios encargados de su puesta en práctica.

3.5.1.- SMED. Implantación

Para la implantación del sistema *SMED* es necesario acometer una serie de actividades que se recogen en las siguientes fases:

3.5.1.1.- Preparación del proyecto.

Formación del equipo de trabajo en el que estén representados los operarios implicados y realización de una prueba piloto de aplicación de la técnica.

3.5.1.2.- Recogida de datos.

Estudio analítico del proceso mediante recogida de tiempos, estudio de productos a fabricar, métodos de trabajo y útiles y herramientas utilizados.

En esta fase resulta necesario valerse, como ya se ha mencionado, de cronometrajes, entrevistas, grabaciones en vídeo...

3.5.1.3.- Análisis de las operaciones.

Clasificación de las operaciones de fabricación, en primer lugar, como internas o externas y, más tarde, como de organización, ajuste, cambio de herramienta, con el fin de preparar el camino para la búsqueda de soluciones.

3.5.1.4.- Búsqueda de soluciones.

Como resultado de esta fase deben aparecer soluciones técnicas y organizativas para afrontar los problemas planteados. Para ello resulta necesario crear en el equipo de trabajo un clima favorable para la aportación de ideas.



3.5.1.5.- Implantación

Contando con el equipo de trabajo, ha de comenzar implantándose las ideas, surgidas en fases anteriores, de bajo coste, estableciendo un método estandarizado de preparación nuevo y formando a los operarios en su aplicación.

3.5.1.6.- Mejora continua.

Continuar la implantación con nuevas propuestas, documentando la evolución de los tiempos. Lograda una mejora significativa habrá que estudiar posibles reducciones del tamaño de lote y valorar los ahorros en tiempo, inventario y calidad de la mejora.

3.5.1.7.- Difusión de resultados.

Difundir los resultados, y las ideas implicadas, por otras áreas productivas de la fábrica, suscitando el interés de otros trabajadores por participar en estos equipos de mejora *SMED*.

3.6.- Estandarización del trabajo

El trabajo estandarizado es una de las herramientas *Lean* más potentes pero menos utilizada, encaminada a lograr la secuencia de operaciones que debe seguir un operario polivalente para lograr, mediante la combinación de trabajo manual y automático, realizar un trabajo eficiente, en equilibrio con el resto de operaciones y con un mínimo de trabajo en curso.

Observar la situación inicial es el punto de partida de cualquier iniciativa de mejora. Aprender a observar nos sirve como base para detectar el desperdicio y los procesos más eficientes, que serán estandarizados y servirán de base para la siguiente mejora. La mejora del trabajo estandarizado es un proceso dinámico que, si bien busca el establecimiento del estándar, hace necesario su constante supervisión para la detección de cualquier tipo de mejora que afecte a la operación

Los principales objetivos que se buscan alcanzar con la implantación de la estandarización del trabajo son: la eliminación de las ineficiencias y el alcance de una



alta productividad en los procesos, el equilibrado de la línea en términos de tiempo de producción y el establecimiento de la cantidad estándar de trabajo en curso que permita a los operarios trabajar sin interrupciones.

3.6.1.- Componentes de las operaciones estándar.

Para la determinación de los componentes de las operaciones resulta necesario la formación de un grupo de trabajo, entre cuyos miembros se incluirá al supervisor, encargo de establecer el tiempo necesario para la realización de las distintas operaciones y el orden en el que deben ser ejecutadas, y a los operarios, que aportarán ideas y experiencia a la vez que obtienen una formación necesaria.

El estudio de métodos y tiempos serán las herramientas utilizadas:

- **Estudio de métodos:** tiene como fin el registro y examen crítico de los modos de trabajo existente o a implantar, con el objetivo de idear y aplicar métodos más sencillos. Parte de un análisis de las operaciones actuales, que se representan en diferentes tipos de diagramas, con el objetivo de eliminar, combinar, reordenar o simplificar las operaciones para encontrar un método más sencillo y adecuado, aumentando la eficiencia y la calidad.
- **Estudio de tiempos:** trata de medir el tiempo empleado en la realización de una determinada tarea, teniendo en cuenta factores, como el método empleado y la rapidez. Utiliza herramientas como cronometraje directo o sobre grabación, tiempos tabulados, muestreos...

3.6.2.- Estandarización en el diseño de puestos de trabajo

La estandarización del trabajo es la herramienta necesaria para flexibilizar el proceso productivo con el objetivo de adaptarse rápidamente a las variaciones de la demanda.

En un entorno *Lean Manufacturing*, el trabajo estandarizado se basa en tres elementos clave: el *Takt time*, la secuencia de trabajo y la cantidad estándar de trabajo en curso.



3.6.2.1.- *Takt time*

Se define como el tiempo comprendido entre la terminación del último producto fabricado y la del siguiente. Cuantifica el tiempo de que dispone el proceso productivo para satisfacer la demanda de una unidad de producto acabado.

$$Tak\ time = \frac{Tiempo\ Diario\ Efectivo}{Demanda\ Requerida}$$

El *Tiempo diario efectivo* no debe incluir los tiempos para descanso, reuniones, entrenamiento, etc, pero si los retrasos debidos a averías de máquina, tiempos de espera de materiales, reproceso, etc, ya que estos deben ser considerados como despilfarros a eliminar.

3.6.2.2.- Secuencia de trabajo

Secuencia de operaciones que deben realizar los operarios para la correcta transformación de un material en otro, ya sea producto final o intermedio.

La secuencia de trabajo queda plasmada en la ruta estándar de operaciones que indica, como se puede desprender de las líneas anteriores, la secuencia de las operaciones que debe llevar a cabo el trabajador en un ciclo de tiempo dado. La ruta estándar de operaciones también tiene en cuenta las operaciones que el trabajador polivalente debe ejecutar en varios puestos de la célula o línea en cuestión.

Resulta necesario comentar que el flujo de productos o materiales establecido no tiene porque coincidir con la secuencia marcada en la ruta estándar.

Alcanzado este punto resulta necesario diferenciar entre la ruta estándar de operaciones y la hoja estándar de operaciones, que se verá con posterioridad en la etapa de diseño y de la que algunos ejemplos se muestran en la figura 3.2 y en el Anexo VII. La diferencia radica en que el primero, como se muestra en la figura, va dirigido a establecer que la secuenciación de las tareas y segundo documento está enfocado a la estandarización de las operaciones elementales indicando, mediante fotografías y comentarios, al operario

como realizar cada tarea al detalle, como se puede comprobar en el Anexo VIII, donde se muestra, a modo de ejemplo, la ruta estándar de operaciones de un determinado proceso.

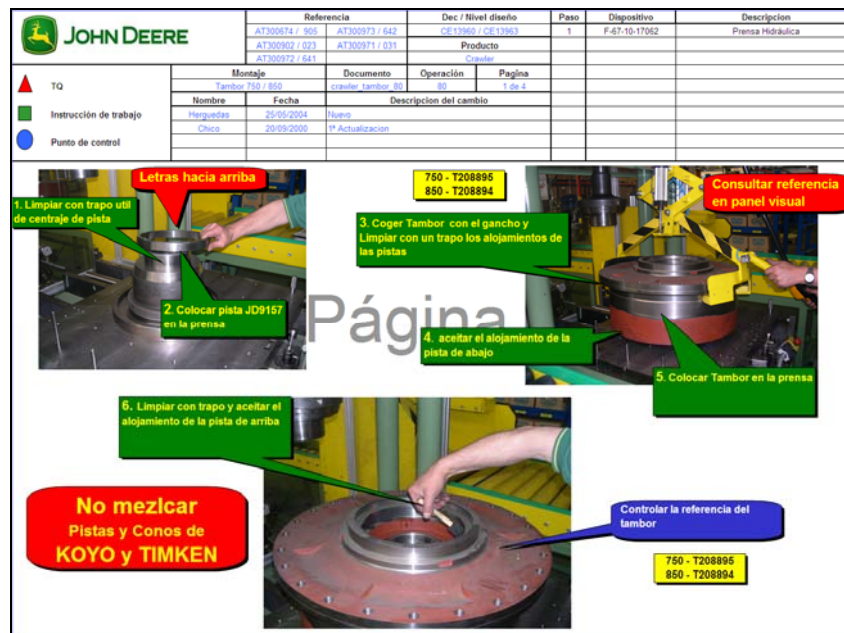


Figura 3.2. Hoja estándar de operaciones de un determinado proceso.

Como se puede apreciar en la figura anterior, a parte establecer, como se vio con anterioridad, la secuencia de las tareas a realizar, la hoja estándar es una herramienta visual que centra su atención en imposibilitar la aparición del error y por consiguiente del defecto. Mediante la utilización de fotografías, comentarios y diferentes leyendas se transforma al proceso en algo objetivo y estándar, libre de toda interpretación por parte del personal implicado.

3.6.2.3.- Cantidad estándar de trabajo en curso

Indica la cantidad de stock intermedio en curso de fabricación que debe situarse entre los diferentes puestos de trabajo para que el sistema funciones sin interrupciones. Las razones que justifican la presencia de estos *buffers*, en los diferentes procesos productivos, son diversas: tiempos de lavado o secado, cambios de temperatura previos



a la operación, necesidad de tratamientos superficiales, inspecciones y controles de calidad, etc.

Como regla general se establece que si en un proceso su secuencia y la ruta de operaciones establecida coinciden, no será preciso situar *stocks* intermedios, y si, por el contrario, la ruta sigue un orden inverso al de la secuencia, será necesario situar una unidad de producto como *buffer* entre los diferentes puestos de trabajo, debido a la posibilidad de ocurrencia de paradas debidas a faltas de material. En cualquier caso debe mantenerse, según indica uno de los objetivos *Lean* ya establecidos, la cantidad mínima de *stock* en curso.

La cantidad estándar de trabajo en curso es también utilizada como una herramienta más del Control Visual o *Visual Management*, abordado, en el presente documento, más adelante. En los puestos de trabajo han de señalizarse los *buffers* necesarios para que el sistema fluya sin interrupción. La falta o presencia en diferente número al calculado de algún *stock* intermedio entre puestos, indica la existencia de algún tipo de problema en la línea, lo que llevará al operario, mediante las reglas de flexeo, a desplazarse hasta el origen del problema y a ayudar a su eliminación. Conviene resaltar, debido a su continua aparición en el documento, que flexeo es un término utilizado internamente con frecuencia por *John Deere*, no muy conocido puertas a fuera. Este concepto hace simplemente referencia a la posibilidad, según se explica a continuación, de que, debido a la configuración de la línea, los operarios accedan, con facilidad, a los diferentes puestos de trabajo existentes, ante la aparición de problemas, con el fin de prestar su ayuda a la resolución de los mismos.

Las reglas de flexeo son dos técnicas visuales sencillas:

- **Regla número uno** (figura 3.3): el operario ha finalizado el trabajo a realizar el producto y se encuentra que el *buffer* del puesto siguiente está completo. Indica la presencia de un problema aguas arriba del proceso y el operario debe desplazarse hacia delante para ayudar a solucionar el problema.

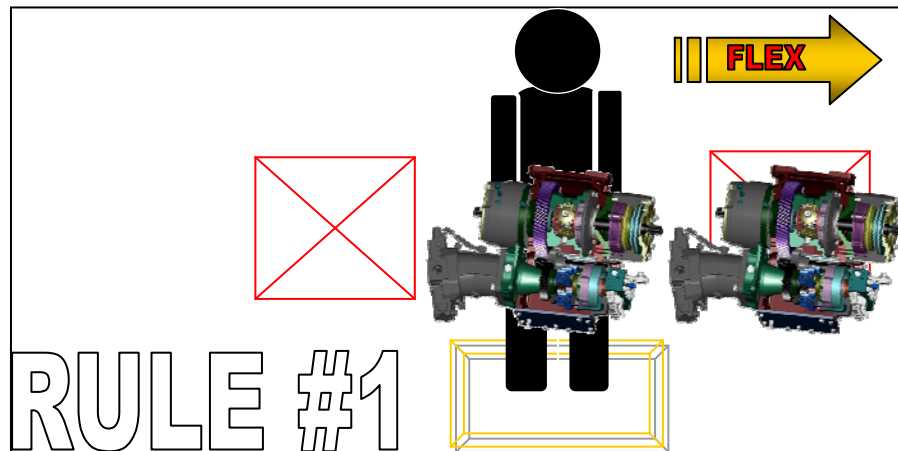


Figura3.3. Flexeo. Regla número 1

- **Regla número dos:** el operario ha finalizado la tarea ha realizar en su puesto de trabajo y el producto llega correctamente al siguiente puesto. Sin embargo no puede comenzar la tarea en el siguiente producto al existir falta de material. El trabajador debe desplazarse hacia atrás, como muestra la figura 3.4, debido a la existencia de un problema aguas abajo.

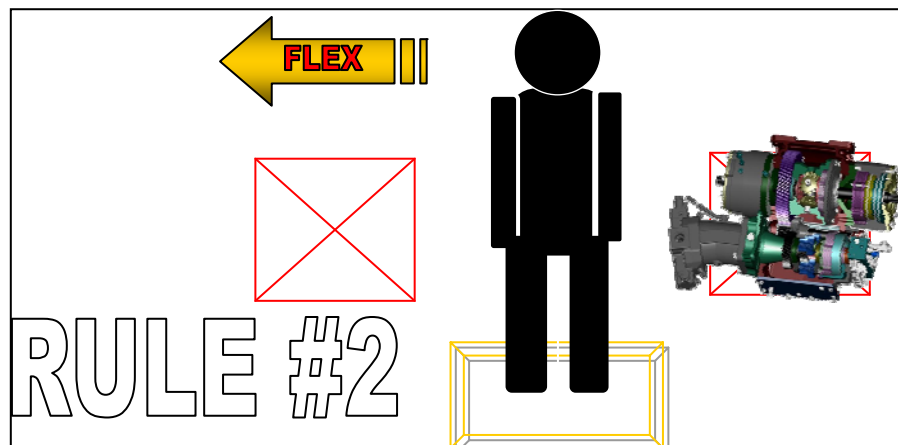


Figura 3.4. Flexeo. Regla número 2



3.7.- Nivelación de la producción

La nivelación de la producción es uno de los pilares del enfoque que se está tratando. Se encamina a producir la cantidad que un proceso toma del proceso anterior. En este sistema, los procesos de producción se arreglan para facilitar la producción de la cantidad requerida en el tiempo requerido, y los trabajadores, equipo, y todos los demás factores de la producción, se organizan con este fin.

Por tanto el control del programa (¿cuándo se haría el trabajo?), que asegura que el proceso se hace a tiempo, y el control de la carga (¿puede realizarse el trabajo?), que asegura que hay un balance adecuado entre capacidad y carga, son críticos. Si los procesos posteriores toman las cantidades que requieren a intervalos irregulares, los procesos precedentes necesitarán personal y equipo extra. Cuanto mayor sea esta inconsistencia, más personal y equipo precisarán los procesos precedentes para cumplir sus requerimientos de producción.

Además, *Lean Manufacturing* emplea *Kanban* (que se verá en el próximo punto) para sincronizar los procesos en sus propias plantas y con los proveedores de piezas. Por tanto, los peligrosos efectos de las inconsistencias se transmiten desde los procesos precedentes a los proveedores de piezas.

3.7.1.- Planificación de la producción

Bajo los sistemas de control de procesos convencionales, la producción se planificaba a menudo en tres fases:

- **Planificación a largo plazo:** a realizar una vez al año, con una duración temporal de más de un año. Establece el plan estratégico de negocio y se basa en una extensa investigación del mercado en el que se va a operar. Produce un número tentativo producción/ventas.
- **Planificación a medio plazo:** se establece mensualmente. Números no estrictamente oficiales de producción mensual, se entregan con dos meses de anticipación a la fábrica y a los suministradores de piezas, con una confirmación



un mes más tarde. Estos números confirmados se utilizan para preparar programas semanales y diarios y para nivelar la secuencia de producción. Aproximadamente dos semanas antes de la producción actual, se da a cada línea la producción proyectada diaria de cada modelo

- **Planificación a corto plazo:** un programa nivelado singular se envía a cada línea, incluyendo los cambios diarios, para encajar el programa con las órdenes actuales.

3.7.2.- Programa nivelado de producción

En la producción anticipada, es improbable el 100% de certidumbre en una previsión. Es inevitable la aparición de *stocks* de artículos terminados y productos intermedios.

En el pasado, se hacían esfuerzos para alargar el período entre órdenes y fechas de entrega. Pero los consumidores tienen sus propias circunstancias restrictivas y la demanda del mercado es generalmente incierta con respecto a las cantidades o tipos de productos y a cuando se necesitarán. Por estas razones, es inapropiado incrementar el período entre órdenes y fechas de entrega.

La producción anticipada parece ser la única solución. Sin embargo la política a seguir es producir órdenes recibidas, o producción sobre demanda, la cual se basa en reducir significativamente el ciclo de producción más bien que en presionar a los clientes para que emitan órdenes con anterioridad. Esto se consigue mediante:

- Utilizando el sistema *SMED* para implementar la producción en pequeños lotes y para facilitar una respuesta rápida ante los cambios en las órdenes.
- Adoptando una producción nivelada, sincronizada, y con operaciones de flujo pieza a pieza.

Si se implantan estas innovaciones, la producción puede comenzar después de recibir una orden, y, como la previsión es necesaria solamente para períodos cortos, la precisión mejora. Como resultado de esto, también se consigue una reducción significativa en los *stocks* de artículos acabados.



El acortamiento del ciclo de producción debe acompañarse por la reducción del segmento de producción adoptado para el plan, con el fin de evitar *stocks* innecesarios.

Un sistema que intenta nivelar su producción utiliza los siguientes segmentos:

- **Plan de producción:** de periodicidad anual, establece los recursos fijos necesarios para afrontar la producción que los objetivos comerciales marcan.
- **Planificación agregada:** se elabora a partir del plan de producción anual, con revisión mensual o quincenal, en función de la demanda real y la actualización de las previsiones.
- **Programa maestro de producción:** establece períodos de producción nivelados, quincenales o semanales, en los que el programa diario de producción es constante. Es aprobado por las áreas de producción implicadas, para asegurar su viabilidad, y comunicado tanto aguas arriba como aguas debajo de la cadena de suministros, para asegurar la capacidad de respuesta, del sistema, ante los requerimientos que marca.
- **Programa diario de producción detallado:** establece, específicamente, los productos a fabricar. Se establece sobre pedidos reales comprometidos con los clientes.

Debe considerarse que aún intentando mantener en firme el programa de montaje final, pueden mantenerse ciertas reservas de capacidad que permitan absorber pequeñas variaciones que pudieran producirse instantáneamente. El enfoque *Lean* trata este problema manteniendo flexible la capacidad de producción. Esto permite a la compañía responder rápida y eficientemente a los incrementos de la demanda, mediante horarios flexibles, transferencia de operarios entre líneas y horas extra.

Cabe mencionar que pueden aparecer, de la misma manera, decrementos en la demanda. El sistema debe reaccionar, en este caso, utilizando, de la misma manera, flexibilidad en los horarios y transferencia de operarios entre líneas, y estableciendo programas de entrenamiento.



3.7.3.- Lanzamiento y control del programa diario producción

Hasta ahora, se ha descrito un sistema planificado, acorde con la demanda del cliente, pero la producción, propiamente dicha, aún no ha comenzado.

3.7.3.1.- Producción en pequeños lotes. Líneas multimodelo

Si se intenta cumplir con rigidez el programa diario de producción fabricando lotes de productos, las diferentes cargas de trabajo de los diferentes elementos producirán fuertes desequilibrios en el sistema. Esta situación, debido a su importancia en el enfoque tradicional, se tratará mediante un caso práctico.

Se programa la carga mensual de producción para tres productos diferentes, a elaborar en las mismas instalaciones (tabla 3.1.).

Tabla 3.1.- Carga mensual de producción programada I

	Producto A	Producto B	Producto C
Primeros 10 días	300.000	0	0
Segundos 10 días	0	600.000	0
Terceros 10 días	0	0	900.000

Si la capacidad de producción para cada uno de los períodos de diez días es de 600.000 unidades, el excedente de capacidad durante el primer tercio del mes resultará en tiempo de desocupación, y la sobrecarga durante el último tercio del mes precisará operaciones en tiempo extra. La creación anticipada de *stocks* hace posible promediar la carga y evitar estos problemas de programación, pero, como ya se ha comentado y se comentará, los *stocks* suponen despilfarro y su eliminación es uno de los objetivos *Lean*.



Si no hubiese nada inherente a la naturaleza de la demanda que requiriese que las 900.000 unidades del producto C tuviesen que abordarse única y exclusivamente en el último período, su producción podría distribuirse a lo largo de todo el mes. Este concepto podría aplicarse, de igual forma, a los productos A y B.

Por tanto, los *stocks* podrían reducirse significativamente y las cargas ajustarse, produciendo de acuerdo con el programa que muestra la tabla 3.2.

Tabla 3.2.- Carga mensual de producción programada II

	Producto A	Producto B	Producto C
Primeros 10 días	100.000	200.000	300.000
Segundos 10 días	100.000	200.000	300.000
Terceros 10 días	100.000	200.000	300.000

Podrían obtenerse reducciones adicionales de *stock* y mejor ajuste de la carga, con un ciclo de producción de cinco días de 50.000 unidades de A, 100.000 unidades de B y 150.000 unidades de C.

Los beneficios se multiplicarían yendo un paso más allá, hacia un ciclo de producción de un día de 10.000 unidades de A, 20.000 unidades de B, y 30.000 de C. El único paso necesario sería dividir la producción en períodos de tiempo específicos y ejecutar pequeños lotes de producción (tabla 3.3.).



Tabla 3.3. Ejemplo programación diaria de la producción

De 8h a 9,20h	10.000 unidades	Producto A
De 9,20h a 12h	20.000 unidades	Producto B
De 13h a 17h	30.000 unidades	Producto C

Sin embargo, conforme la producción se subdivide y se producen lotes cada vez más pequeños, los cambios de útiles y preparaciones de trabajo resultan más frecuentes, lo que exige como precondition esencial un enfoque racionalizado de los cambios de útiles esto es el ya mencionado sistema *SMED* (punto 3.5).

La aplicación de este sistema de producción en pequeños lotes ha alcanzado asombrosos resultados, pero llegado este momento resulta necesario exponer que no importa lo rápido que puedan ser los cambios de útiles, las diferencias entre los lapsos unitarios de tiempo entre productos originarán pérdidas. Cuantos más procesos haya, más tiempo se perderá. En resumen, las pérdidas de tiempo se incrementarán conforme los tamaños de lote disminuyan y los cambios de trabajo sean más frecuentes.

La razón fundamental que impulsa a las empresas a producir en lotes homogéneos es la existencia de un elevado coste de cambio de un modelo a otro.

3.7.3.2.- Producción mezclada. Líneas de modelo mixto

Para la superación del problema mencionado en el punto anterior: “...las pérdidas de tiempo se incrementarán conforme los tamaños de lote disminuyan y los cambios de trabajo sean más frecuentes”, y ya que, en estas líneas, la reducción del tiempo de preparación entre los distintos modelos se ha reducido prácticamente a cero, el sistema, puede combinar el flujo de producción de varios productos, formando lotes que constan

de una variedad preestablecida de productos (figura 3.5). Estas líneas de producción son conocidas como de modelo mixto.

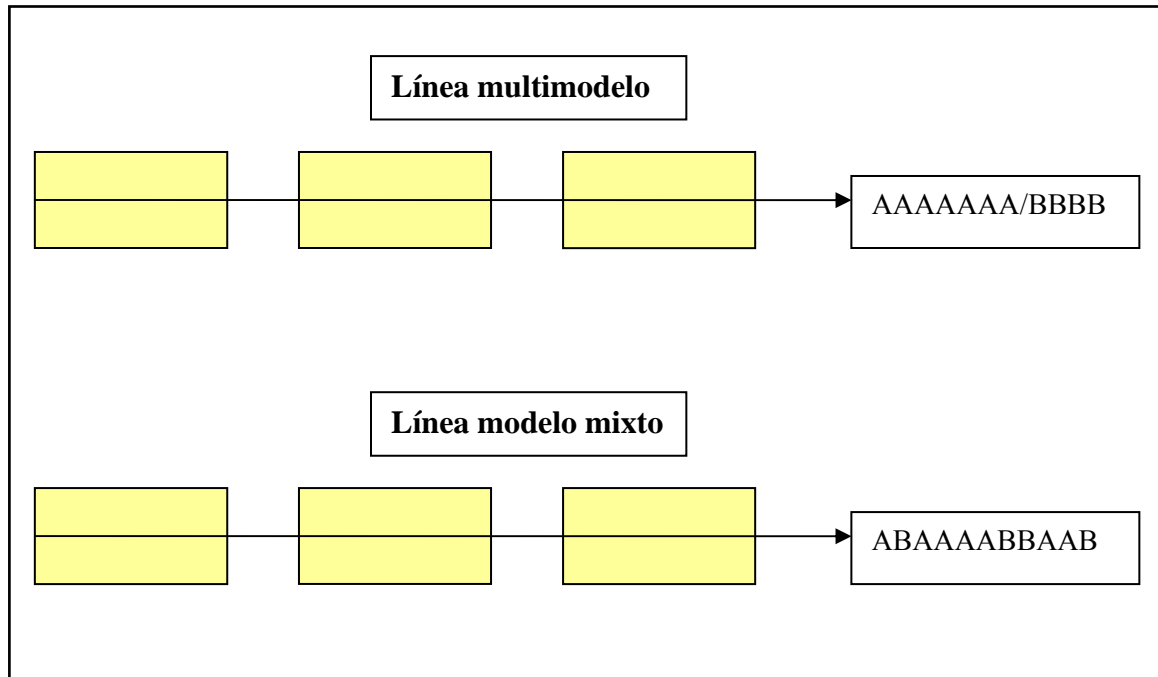


Figura 3.5. Línea multimodelo vs. Línea modelo mixto

El problema fundamental de las líneas de modelo mixto no reside tanto en el cambio de producto como en producir una secuencia de modelos para adaptarse, lo más fielmente posible, a la demanda.

Dos son los métodos que, principalmente, utiliza *Lean Manufacturing* para la secuenciación de este tipo de líneas, diferenciados en sus ideas subyacentes:

- **Time spread:** normalmente se suele establecer un lote mixto de producción en función de la demanda prevista para la línea y dicho lote se intenta mantener en la misma secuencia durante el periodo planificado acordado con los proveedores de la línea. Este método considera que es preferible absorber las pequeñas variaciones, que se pudieran producir en la demanda respecto a esa tasa de producción uniforme, con *stock* final, a introducir variaciones constantes en la



línea que podrían conducir a amplificar las variaciones aguas arriba de la cadena de suministro.

- ***Chasing the goal***: este método pretende lograr una secuencia de modelos, en la línea de modelo mixto, que transmita la regularidad de la demanda, establecida en el programa de producción, a los distintos componentes que forman parte del montaje. De esta forma, los suministradores de estos componentes pueden aprovecharse del equilibrado de la línea para mantener una regularidad en sus tasas de producción de componentes.

La ventaja más importante de la implantación de este modelo de producción, radica en la posibilidad de cambiar la forma de gestión, pasando de la necesidad de gestionar lotes de producción a gestionar flujos de producción, o lo que es lo mismo, pasar de un sistema de producción *push* a un sistema tipo *pull*. Conviene definir estos dos sistemas:

- **Sistema convencional *push***: en este sistema las piezas avanzan siguiendo un programa de trabajo. Una vez finalizada una etapa las piezas pasan a la siguiente, que no puede comenzar hasta que la fase precedente haya finalizado. Exige una programación del proceso y una ordenación de los lanzamientos a los distintos centros de trabajo centralizada.
- **Sistema equilibrado *pull***: en este caso es posible lograr un ajuste de la capacidad a la demanda con un flujo continuo planificado equilibrado, lo que permite una gestión descentralizada en respuesta a la demanda. Por el contrario exige una estabilidad en los programas establecidos para que pueda funcionar adecuadamente.

La única condición para que un sistema *pull* funcione adecuadamente, consiste en que cada centro de trabajo que participe en la producción sea factible. Es decir, la capacidad ha de ser suficiente en todo momento para lograr igualar la demanda media diaria establecida y posibles variaciones previsibles alrededor de la misma



Como apunte final, se debe mencionar, que dependiendo de la estructura, tanto de los productos como de la tecnología a emplear, habrá de decantarse por una línea multimodelo o por una de modelo mixto.

3.8.- Sistema *Kanban*

Kanban significa en japonés etiqueta de información. La etiqueta *Kanban* contiene información que sirve como orden de trabajo. En otras palabras es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de que se va a producir, en que cantidad, mediante que medios, y como transportarlo.

Dicho sistema, se diseñó para enlazar los procesos productivos al flujo establecido por la secuencia de montaje final, cuando los procesos están separados por una distancia apreciable o cuando tienen periodos de ejecución más largos que los procesos iniciales y, por lo tanto, es un sistema *pull* que responde a la demanda de los procesos precedentes. Puede ser aplicado a un entorno de fabricación, siempre que el proceso sea capaz de responder a la demanda requerida por el cliente, pero tiene la ventaja que reproduce sin distorsión el comportamiento de la demanda.

3.8.1.- Sistema *Kanban*. Funcionamiento

Aunque, existen varias formas de materializar el sistema *Kanban* dependiendo de su simplificación, aplicando los elementos tecnológicos de comunicación actuales, y especificidad, todas las variaciones del sistema poseen un funcionamiento común.

El sistema comienza adhiriendo una tarjeta *Kanban* a cada producto o contenedor estándar. En el caso de ser utilizado un contenedor, este debe contener un número de piezas establecido, pero sólo se admiten dos posibilidades, o estar lleno o vacío.

Cuando el sistema consume el producto en su proceso productivo la tarjeta *Kanban*, en este caso de movimiento, es depositada en un buzón especial. Este buzón puede admitir *Kanban* de diferentes elementos pero ha de estar programado según la norma *FIFO* (*First in first out*) con el fin de mantener el patrón de demanda. Periódicamente estas tarjetas de movimiento son recogidas y enviadas al almacén de entrada para su



reposición en la célula de trabajo. El operario encargado del abastecimiento de la célula recogerá tantos artículos o contenedores como tarjetas *Kanban* tenga.

Los artículos o contenedores estándar, recogidos en el almacén de entrada de material, lleven también adheridos una tarjeta *Kanban*, en este caso de producción, que una vez retirada del producto, al ser este enviado a la línea, deberá situarse en otro buzón de recogida de tarjetas. Estas tarjetas de producción, igualmente recogidas periódicamente, son enviadas al departamento de producción, en el caso de proveedores internos, o a compras, para proveedores externos. En estos departamentos únicamente se producirán o comprarán únicamente el número de productos indicados por las tarjetas de producción. Una vez producidos, o recibidos, dichos productos o contenedores, se les adherirá el *Kanban* de producción correspondiente, en espera de ser requeridos por el proceso productivo.

Como se puede observar el sistema sólo se pondrá en marcha cuando los productos sean consumidos por la célula o línea de fabricación (sistema *pull*) y la producción, o compra, de referencias comenzará cuando existan *Kanban* de producción libres, es decir, se han consumido artículos y alguno de los contenedores, o piezas individuales, necesita ser repuestos.

El *stock* en curso viene establecido por el número de tarjetas en circulación y podemos afirmar que si el sistema funciona sin interrupción es que el *buffer* de *stock* y la capacidad de respuesta de producción cubren correctamente las variaciones de la demanda. En esta situación se debe reducir dicho inventario con el fin de identificar aquellos procesos, dentro del sistema productivo, cuellos de botella.

3.8.2.- Sistema *Kanban*. Tarjetas *Kanban*

Los sistemas *Kanban* utilizan dos tipos de tarjeta:

- ***Kanban* de movimiento:** libera la orden de reposición de componentes.
- ***Kanban* de producción:** libera la orden de producción de componentes.



Capítulo 3. Técnicas *Lean Manufacturing* aplicables

Resulta frecuente que los componentes, debido a su tamaño, sean repuestos utilizando contenedores estándar y no unidad a unidad. Por ello, en ciertas ocasiones, y dependiendo del tamaño de dichos componentes, las tarjetas *Kanban* se asociarán a contenedores y no a productos individuales, siguiendo siempre una configuración establecida.

Independientemente si la tarjeta *Kanban* esta asociado a un contenedor o a un producto individual, todas ellas deben contener la misma configuración e información (tipo de material, cantidad a reponer o producir, capacidad y tipo de embalaje, número de tarjeta...)



Figura 3.6. Tarjetas *Kanban* en contenedor estándar

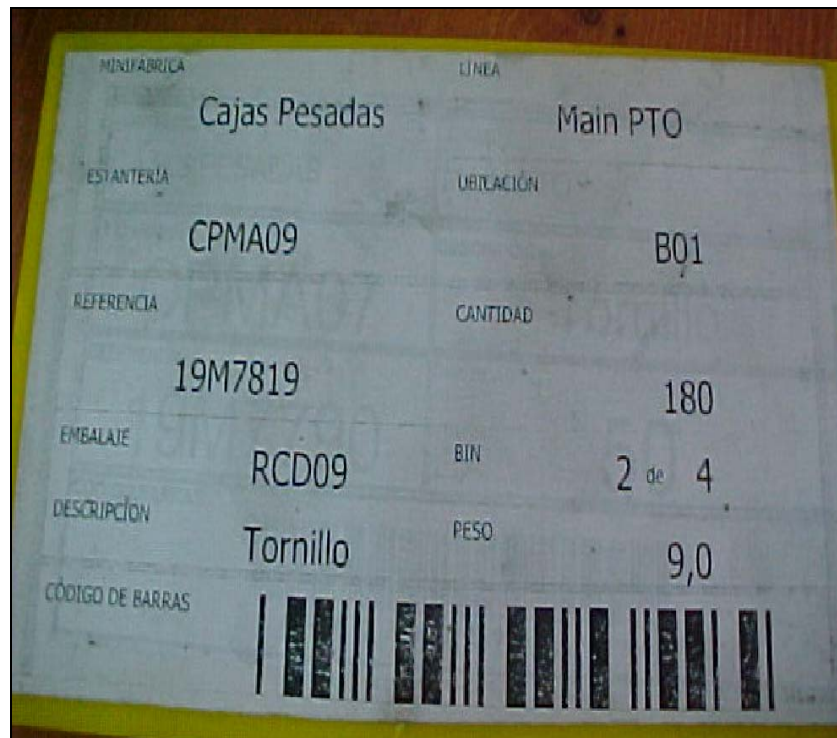


Figura 3.7. Tarjeta *Kanban* estándar John Deere

3.8.3.- Sistema *Kanban*. Cálculo del número de tarjetas

Como se ha comentado anteriormente las tarjetas *Kanban* establecen el inventario en curso del sistema necesario para conectar los procesos sin que se produzcan interrupciones en el flujo de materiales.

Si aceptamos que con la aplicación de otras técnicas *Lean* aseguramos una demanda regular en el proceso (nivelación de la producción) y unos tiempos de preparación mínimos (*SMED*), únicamente se necesitará *stock* para garantizar que no existe rotura de *stock* durante el *lead time* o tiempo de reposición de los productos, sin necesidad de considerar otro lote que el que se establece como capacidad del contenedor estándar.

La fórmula más recomendada para el cálculo del número de tarjetas *Kanban* es:

$$N^{\circ} \text{ tarjetas Kanban} = \frac{DMD * LT * (1 + SS)}{QC}$$



- *DMD*: demanda media diaria
- *LT*: *lead time*
- *QC*: cantidad de artículos que contiene el contenedor estándar. Puede calcularse mediante las fórmulas de gestión de inventario independiente, de producción y consumo simultáneo.
- *SS*: *stock* de seguridad, expresado en tanto por uno.

Debido a que el método utiliza dos tipos de tarjetas (movimiento y producción) y la capacidad de respuesta de cada centro de trabajo puede variar, resulta necesario adaptar la citada fórmula a las diferentes características y situaciones.

3.9.- Calidad (*Quality at the source*)

Lean Manufacturing usa distintas herramientas para mejorar la calidad de los procesos y de los productos. Estas técnicas afrontan la mejora de la calidad mediante dos conceptos distintos: la prevención y la detección.

3.9.1.- Prevención

3.9.1.1.- Poka-yoke. Definición

Poka-yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La finalidad del Poka-yoke es eliminar los defectos en un producto previniendo la aparición errores.

Ante esta definición resulta necesario diferenciar entre errores y defectos:

- **Error**: son la causa de que ocurran defectos. Son inevitables.
- **Defecto**: son el resultado de permitir que un error llegue al cliente. Son totalmente evitables. Conviene resaltar que el término cliente se refiere tanto a clientes internos, muy comunes en *John Deere*, como a externos en la



organización. Puede caerse en el error de dar mayor importancia a los segundos, debido a que los clientes, en este caso, son personas ajenas a la organización y se fomenta la mala imagen en el mercado del corporativo, pero económicamente hablando, los primeros pueden ser incluso más dañinos, si el defecto ocurre en las primeras fases de desarrollo de alguno de los componentes del producto, y su efecto se ve amplificado aguas arriba.

Los sistemas Poka-yoke implican llevar a cabo el 100% de inspección, así como una retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100% de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto.

3.9.1.2.- Poka-yoke. Métodos

- **Métodos de control:** existen métodos que cuando ocurren anomalías apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación previniendo que siga ocurriendo el mismo defecto. Estos tipos de métodos tienen una función reguladora fuerte, y por lo tanto este tipo de sistemas de control ayudan a maximizar la eficiencia para alcanzar cero defectos. No en todos los casos que se utilizan métodos de control es necesario apagar o bloquear la máquina completamente, por ejemplo cuando son defectos aislados (no en serie) que se pueden corregir después, se puede diseñar un mecanismo que permita "marcar" la pieza defectuosa, para su fácil localización, y después corregirla, evitando así tener que detener por completo la máquina y continuar con el proceso.
- **Métodos de advertencia:** este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz o sonido. Si el trabajador no se da cuenta de la señal de advertencia, los defectos seguirán ocurriendo, por lo que este tipo de método tiene una función reguladora menos poderosa que la de métodos de control. En cualquier situación los métodos de control son más efectivos que los métodos de advertencia, por lo que los de tipo control deben usarse tanto como sean posibles. El uso de métodos de advertencia se debe considerar cuando el impacto de las

anormalidades sea mínimo, o cuando factores técnicos y/o económicos hagan la implantación de un método de control una tarea extremadamente difícil.

3.9.1.3.- Poka-yoke. Clasificación métodos

Tanto los métodos de control como los de advertencia se pueden clasificar en:

- **Métodos de contacto:** son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anormalidades en el acabado, en la posición o en las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.



Figura 3.8. Mando final. Sensor identifica referencia y posición

La figura 3.8, corresponde a un método de contacto situado en la línea de montaje de uno de los mandos finales ensamblados en las instalaciones de la compañía. El sensor contiene la información de las diferentes referencias a montar en la línea y sus respectivas posiciones, para el correcto ensamblado en el puesto siguiente. En el caso de que un subproducto sea mal posicionado en el camino de rodillos, lo que imposibilita el correcto montaje, el sensor detecta el

error, detiene el proceso y no permite su puesta en marcha hasta la subsanación del error.

- **Método de valor fijo:** con este método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben repetirse un número predeterminado de veces.



Figura 3.9. *Crawler*. Contador de aprietes buenos.

Según muestra la figura 3.9, el sistema contiene la información de los diferentes procesos de apriete a realizar en el montaje, con el número de tornillos y el valor del par. El operario marca, en el cuadro del contador, la operación en la que se encuentra. Conforme el operario avanza, el sistema contabiliza el número de aprietes buenos realizados y solo permitirá el avance a la siguiente operación cuando estos coincidan con los preestablecidos.

- **Método del paso-movimiento:** estos son métodos en los cuales las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones son realizadas con movimientos



predeterminados. Este método tiene un amplio rango de aplicación, y su posibilidad de su uso debe de considerarse siempre.



Figura 3.10. Crawler. Operario debe colocar la junta en el kit

Dentro de la secuencia de eventos del montaje del *Crawler*, una de las operaciones a realizar consiste en la colocación de una de las juntas en su correspondiente *kit*, para evitar que el operario olvide su colocación (figura 3.10).



Figura 3.11. Crawler. Kit de montaje eje de entrada

La misma idea se mantiene en el montaje del eje de entrada, donde es necesario que el operario monte el *kit* que muestra la figura 3.11, previamente al montaje, para evitar el olvido de alguno de sus elementos.

3.9.2.- Detección

Este segundo concepto enfatiza la importancia de la inmediatez en la detección del error, ya que el daño ocasionado por un defecto se verá incrementado aguas arriba del proceso productivo.

La detección de errores en el momento en el que se producen minimiza el coste y el número de unidades a reprocesar, a la vez que mejora la linealidad del proceso. En la detección podemos diferenciar dos enfoques:

- Auto-inspección (*self inspection*): cada operario debe inspeccionar tanto su propio trabajo como el trabajo realizado por el operario anterior. Este concepto queda reflejado en la figura 3.12 donde se muestra, en un caso ideal a modo de ejemplo, las mejoras a obtener, tras la implantación de la auto-inspección, en la calidad, mediante el indicador PMO (Partes por Millón de Oportunidades).

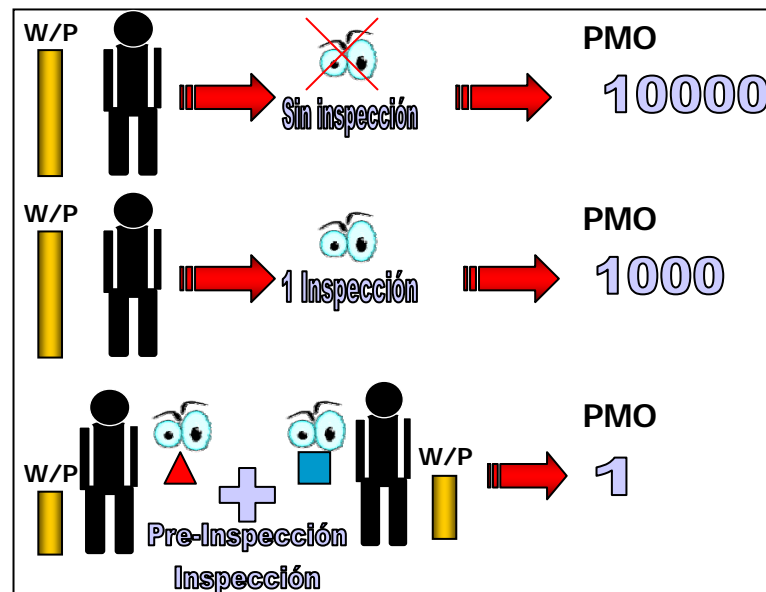


Figura 3.12. Detección. Mejora del indicador Partes por Millón de Oportunidades (PMO). Número de piezas con algún tipo de defecto, detectado por el cliente, por millón enviado)

- Inspección raíz (*source inspection*): el fabricante extiende su sistema de calidad en los sistemas productivos de sus proveedores.

3.10.- Mantenimiento Total de la Producción (TPM)

3.10.1.- TPM. Definición

TPM asume el reto de cero fallos, cero incidencias y cero defectos para mejorar la eficacia de un proceso productivo, permitiendo reducir costes y *stocks* intermedios y finales, con la mejora de la productividad.

TPM es el conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten cuidar y explotar los sistemas y procesos básicos productivos, manteniéndolos en su estado de referencia y aplicando sobre ellos la Mejora continua.

Se define como estado de referencia aquel en que el equipo de producción puede proporcionar su mayor rendimiento en función de su concepción y de la situación actual, cara a la evolución del producto a elaborar o transformar.



En caso de desviación de la situación de referencia las consignas de actuación deben precisar:

- La intervención que debe hacer el operador de fabricación.
- La forma de actuar ante un difícil diagnóstico para ser ayudado por profesionales o técnicos de mantenimiento.

3.10.2.- *TPM*. Objetivos

TPM tiene como finalidad el mantenimiento de los estándares y la búsqueda permanente de la mejora de los mismos con el fin de mejorar los comportamientos técnicos de un proceso, a través de una implicación concreta y una participación diaria de todos los miembros y funciones de la organización, en particular de todas las relacionadas con el proceso productivo. Así mismo, busca la innovación en los sistemas para alargar su ciclo de vida.

Como se puede desprender de las líneas anteriores, el objetivo principal del *TPM* es la Mejora continua del rendimiento operacional de todos los procesos y sistemas de producción y de dicho objetivo se desprenden:

- Conseguir el rendimiento operacional óptimo de los equipos de producción con la participación de todos.
- Mejorar la fiabilidad y la disponibilidad de los equipos para eliminar defectos, tanto esporádicos o aleatorios como crónicos, así como para asegurar la calidad de los productos y mejorar la productividad.
- Mejorar diseños y hacer puestas a punto más económicas a través de la experiencia adquirida, en las actividades *TPM*, tanto por el operario como por el responsable de adquirir nuevos productos y a los constructores de los mismos.
- Formar a agentes técnicos y operadores de líneas de fabricación para que conozcan bien las instalaciones.



3.10.3.- TPM. Implantación

Es necesario decir que la implantación de un programa *TPM* en una industria debe ser el apropiado para la actividad y equipos de producción, en cuanto a tipo y estado, así como para los problemas que se deseen afrontar. Dicho esto, se puede establecer una serie de etapas, aceptadas casi universalmente, comunes a todo programa *TPM* (tabla 3.4.)

Tabla 3.4. Etapas de un programa TPM

	ETAPAS	CONTENIDOS
PREPARACIÓN	1.- Decisión de la dirección de aplicar TPM como proyecto de empresa	- Estrategia a presentar en el comité de dirección
	2.- Campaña de información-formación técnica	- Estrategia a presentar en el comité de dirección
	3.- Crear la estructura de animación y pilotaje del TPM	- Comisiones - Grupos de trabajo
	4.- Diagnóstico de la situación de partida. Indicadores de progreso técnico,	- Banco de datos de valores técnicos/económicos - En cuestras de la organización
	5.- Redacción de un plan tipo. Líneas de acción/objetivos	- Redacción global y detallada - Planificación
DESARROLLO	6.- Lanzamiento	- Datos de partida/presentación plan tipo - Aspectos formales - Desarrollo de las 5S
	7.- Implantación de la mejora continua en los sistemas/procesos	- Análisis de disfuncionamientos - Máquinas cuello de botella - Grupos de fiabilización
	8.- Desarrollo del automantenimiento	- Gestión específica - Formación - Gammas/niveles
	9.- Desarrollo del mantenimiento programado	- Mejora de la gestión y organización del mantenimiento - Gammas/niveles - Formación - Máquinas típicas - Grupos de fiabilización
OPTIMIZACIÓN	10.- Formación del equipo humano en los métodos y experiencias del mantenimiento global	- Entrevistas/evaluación de competencias - Contrato de formación/cursos - Gestión de la polivalencia - Grupos de fiabilización
	11.- Integrar el TPM en los sistemas de gestión, diseño, y construcción de nuevos equipos	- Participar en fases de un proyecto de equipo nuevo - Documentación técnica - Fiabilización - Máquinas típicas - Grupos de fiabilización
	12.- Certificar la aplicación TPM	- Auditar/definir nuevos objetivos - Mejorar la formación



3.11.- Fabricación celular

Aunque en el punto 2.2.3., del documento, ya se haya tratado el tema de la orientación de la fábrica hacia el flujo de productos, es conveniente, debido a su repercusión en los actuales sistemas de fabricación, entrar en detalle en su definición, conceptos y objetivos.

3.11.1.- Fabricación celular. Definición

La fabricación celular enfoca la fábrica hacia el producto en vez de hacia los procesos de fabricación. Para ello resulta necesario concebir los procesos de fabricación siguiendo la secuencia de flujo de materiales hacia el producto final, ajustando las capacidades de las máquinas y la mano de obra a las necesidades de la demanda de dicho producto.

Debido a la situación competitiva actual, resulta necesario responder con rapidez y flexibilidad a producciones cambiantes y variables. Quizás este escenario vaya en contrapartida con el concepto de fabricación celular, pero en la actualidad existen dos factores que ayudan a la implantación y a la consecución de los objetivos que la fabricación enfocada al flujo de productos plantea:

- **La tecnología:** simplifica y, en algunos casos, automatiza el funcionamiento de las máquinas y, con este, las operaciones a desempeñar.
- **La mano de obra:** mediante la formación, los operarios son capaces de abordar un gran número de operaciones en diferentes áreas de la manufactura.

3.11.2.- Fabricación celular. Implantación

El fin es diseñar un sistema capaz de aplicar la idea subyacente a la producción en pequeñas series de productos distintos y conseguir, en la planta, unos flujos de proceso ordenados, a través de los cuales se consiga un avance rápido de los productos hacia el cliente.



Para alcanzar un óptimo rediseño del proceso, con el fin de alcanzar los objetivos planteados, resulta de utilidad establecer una serie de fases metodológicas.

3.11.2.1.- Fase previa.

Antes de comenzar a establecer una configuración enfocada al flujo de productos es necesario comenzar con algunas modificaciones sencillas que no necesiten grandes cambios en la disposición física del taller: separar la actuación de la máquina y el trabajador mediante mecanismos de parada de máquina, comenzar un programa de polivalencia intentando que los trabajadores puedan atender más de una máquina, incorporar tareas de automantenimiento y vigilancia de la calidad...

Técnicas *Lean* mencionadas en este documento (5S's, *SMED*, *TPM*) resultan de indudable utilidad en esta fase.

3.11.2.2.- Fase de cambio a la fabricación celular.

En esta fase resulta necesario partir de un estudio previo del diseño de células para la fabricación de familias de piezas con similar proceso. Dicho estudio se realizará mediante la tecnología de grupos. La tecnología de grupos puede definirse como un método mediante el cual reorganizamos la fábrica a partir de una identificación de partes (componentes o piezas) similares tanto por diseño como por fabricación. Es decir consiste en agrupar las piezas en familias con características, métodos de fabricación y tiempos de proceso similares y diseñar células que puedan procesar una determinada familia de piezas de forma eficiente y continua.

La filosofía *Lean* trata de utilizar los recursos disponibles para la implantación de cualquiera de sus técnicas, por lo que, una vez finalizado el estudio previo, tomará los equipos de los antiguos departamentos funcionales y realizará un estudio referente a la nueva configuración de la planta, la demanda estimada para cada célula, métodos de trabajo necesarios para abordar las nuevas operaciones, formación necesaria de los trabajadores...



En esta fase resulta necesario estudiar si es posible dedicar células a una familia de productos más restringida, o incluso a un único producto, o si es preferible combinar la fabricación de un mayor rango de productos en una misma célula.

Igualmente han de ser chequeadas las distintas alternativas de disposición en planta de las máquinas en las células y las ventajas, como la simplificación en la manipulación de materiales, la reducción del espacio necesario y la mejora de la visibilidad, de configuraciones en “U” o en “C” frente a otras alternativas lineales.

Otro problema adicional, en la implantación de la fabricación celular, se plantea con la necesidad de equilibrar la carga de trabajo en cada puesto, dentro de la célula, con el tiempo de ciclo específico de cada tarea. Como ya se ha mencionado anteriormente la polivalencia de los operarios y la introducción de cierto grado de automatización facilitan enormemente esta tarea.

3.11.2.3.- Fase de automatización

La automatización mejora el diseño y el funcionamiento de las células de fabricación. No obstante resulta necesario, como el enfoque *Lean* indica, acometer la automatización después de la racionalización y simplificación del proceso.

3.12.- Mejora continua (*Kaizen*)

La Mejora continua proviene de dos ideogramas japoneses: *Kai* que significa cambio y *Zen* que quiere decir mejora. Así, podemos decir que *Kaizen* es “cambio para mejorar” o “Mejora continua”. Los dos pilares que sustentan *Kaizen* son los equipos de trabajo y la ingeniería industrial, empleados para mejorar los procesos productivos. *Kaizen* está enfocado a la estandarización de los procesos y a la eliminación de desperdicios, en sus diferentes formas. Su práctica requiere de un equipo integrado por personal de producción, mantenimiento, calidad, ingeniería y compras, además de los empleados que el equipo considere necesarios, de lo que se desprende que *Kaizen* no es una herramienta elitista que solo afecte a la alta gerencia. Su objetivo es incrementar la productividad controlando los procesos de manufactura mediante la reducción de tiempos de ciclo, la estandarización de criterios de calidad, y de métodos de trabajo por



operación, teniendo en cuenta que se apoya en una estrategia barata sin fuertes inversiones en tecnología y consultoría.

Kaizen implica una gestión visual en los procedimientos y valores alcanzando una total transparencia en el proceso haciendo visibles, a los ojos de todos, errores, problemas y desperdicios. Su metodología trae consigo resultados concretos, tanto cualitativos como cuantitativos, en un período relativamente corto de tiempo.

Cabe mencionar que la Mejora continua es un proceso continuo que debe seguir la máxima: “hoy mejor que ayer pero peor que mañana”, ya que una vez implantadas las mejoras propuestas, deben buscarse nuevas formas de optimizar los procesos, convirtiéndose en una herramienta continua.

3.12.1.- Mejora continua. Implantación

Debido a que el proceso de Mejora continua puede aplicarse a un gran número de entornos diferentes (producción, logística, compras, gestión...) y aunque su concepto, principios y objetivos permanecen invariables, su proceso de implantación puede sufrir variaciones. Por este motivo, la implantación que a continuación se describe, es la adoptada por *John Deere* en sus plantas de fabricación y montaje.

3.12.1.1.- Primera etapa. Creación de la estructura organizativa

La estructura frecuentemente utilizada es la del equipo multidisciplinar. En esta clase de equipos intervienen trabajadores de las diferentes áreas involucradas en el proceso productivo como supervisores, operarios, personal técnico de mantenimiento, compras o almacenes, proyectos, ingeniería de proceso y control de calidad.

3.12.1.2.- Segunda etapa. Selección del proyecto

Para la selección del proyecto a implantar, para la mejora del proceso, se pueden emplear diferentes criterios como: objetivos superiores de la organización industrial, problemas de calidad y entregas al cliente, criterios organizativos, relación con otros procesos de mejora...



3.12.1.3.- Tercera etapa. Situación actual y formulación de objetivos

En este paso es necesario un análisis del problema en forma general y se identifican las pérdidas principales asociadas con el problema seleccionado. En esta fase se debe recoger o procesar la información sobre averías, fallos, reparaciones y otras estadísticas sobre las pérdidas por problemas de calidad, análisis de capacidad de proceso y de los tiempos de operación para identificar los cuellos de botella, paradas, etc. Esta información se debe presentar de forma sencilla y didáctica para facilitar su interpretación y el diagnóstico del problema. Una vez establecidos los temas de estudio es necesario formular objetivos que orienten el esfuerzo de mejora.

3.12.1.4.- Cuarta etapa. Diagnóstico del problema

Antes de utilizar técnicas analíticas para estudiar y solucionar el problema, se deben establecer y mantener las condiciones básicas que aseguren el funcionamiento apropiado del equipo. Estas condiciones básicas incluyen: limpieza, lubricación, chequeos de rutina, etc. También es importante la eliminación completa de todas aquellas deficiencias y las causas del deterioro acelerado debido a fugas, escapes, contaminación, polvo, etc. Esto implica realizar actividades de mantenimiento autónomo en las áreas seleccionadas como piloto para la realización de las mejoras enfocadas.

Las técnicas analíticas utilizadas con mayor frecuencia en el estudio de los problemas del equipamiento provienen del campo de la calidad. Debido a su facilidad y simplicidad tienen la posibilidad de ser utilizadas por la mayoría de los trabajadores de una planta. Las técnicas más empleadas por los equipos de estudio son: *Six Sigma*, análisis *GAP*, método *Why & Why*, Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), análisis de datos, análisis de flujo y otras técnicas utilizadas en los sistemas de producción Justo a Tiempo (*JIT*).

3.12.1.5.- Quinta etapa. Formulación del plan de acción

Una vez se han investigado y analizado las diferentes causas del problema, se establece un plan de acción para la eliminación de las causas críticas. Este plan debe incluir



alternativas para las posibles acciones. A partir de estas propuestas se establecen las actividades y tareas específicas necesarias para lograr los objetivos formulados. Este plan debe incorporar acciones tanto para el personal especialista como para el de ingeniería, proyectos, mantenimiento, etc., como también acciones que deben ser realizadas por los operadores del equipo y personal de apoyo rutinario de producción.

3.12.1.6.- Sexta etapa. Implantación de mejoras

Una vez planificadas las acciones con detalle se procede a implantarlas. Es importante durante la implantación de las acciones contar con la participación de todas las personas involucradas en el proyecto incluyendo el personal operador. Las mejoras no deben ser impuestas ya que si se imponen por orden superior no contarán con un respaldo total del personal operativo involucrado. Cuando se pretenda mejorar los métodos de trabajo, se debe consultar y tener en cuenta las opiniones del personal que directa o indirectamente intervienen en el proceso.

3.12.1.7.- Séptima etapa. Evaluación de resultados

Es muy importante que los resultados obtenidos en la mejora sean publicados en toda la empresa, lo que ayudará a asegurar que cada área se beneficie de la experiencia de los grupos de mejora.

3.13.- Otras técnicas *Lean Manufacturing*

3.13.1.- Control visual (*Visual management*)

Visual management es un conjunto de sistemas que permiten a cualquier persona evaluar, de manera rápida y fácil, el estado actual de una operación o proceso, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.

Los controles visuales están íntimamente relacionados con los procesos de estandarización. Un control visual es un estándar representado mediante un elemento gráfico o físico, de color o numérico y muy fácil de ver. La estandarización se transforma en gráficos y estos se convierten en controles visuales. Cuando sucede esto,



sólo hay un sitio para cada cosa, y podemos decir de modo inmediato si una operación particular está procediendo normal o anormalmente.



Figura 3.13. Control visual. Bandejas rojas: *scrap*; bandejas amarillas: *scrap* proveedor; bandejas azules: reproceso

En la figura anterior aparece un ejemplo del *Visual Management*. Se puede comprobar, con un simple vistazo, el número de piezas clasificadas como *scrap* (chatarra), achacables tanto a la célula como al proveedor, y el número de piezas a reprocesar. Esto nos proporciona un dato objetivo sobre el funcionamiento de la célula.

3.13.2.- Sistema *Andon*.

Andon es un sistema utilizado para alertar de problemas en un proceso de producción. Da al operario o a la máquina automatizada la capacidad de detener la producción al encontrarse un defecto y de continuarla cuando se soluciona. Motivos comunes para el uso de la señal *Andon* pueden ser: falta de material, defecto creado o encontrado, mal funcionamiento del utillaje o la aparición de un problema de seguridad.



La complejidad de un sistema *Andon* puede ser variable. La forma más simplificada es la de una columna de luces de varios colores. Una de ellas representa el estado de funcionamiento en el que la producción transcurre de forma normal, respetando la cadencia de producción estándar y sin problemas de calidad, seguridad... Las otras representan cada una de las categorías de fallo que se quieran identificar y se encienden cuando se produzca un fallo de la categoría correspondiente.

Los sistemas más evolucionados pueden detallar aún más los tipos de error, comunicar los fallos a una red informática y registrar datos sobre el funcionamiento del puesto o de la línea de producción.

3.13.3.- Verificación del proceso. *Jidoka*

La palabra *Jidoka* significa verificación en el proceso. Cuando en el proceso de producción se instalan sistemas *Jidoka* se refiere a la verificación de la calidad de los productos fabricados.

La filosofía *Jidoka* establece los parámetros óptimos de calidad en el proceso de producción, el sistema *Jidoka* compara los parámetros del proceso de producción contra los estándares establecidos y realiza la comparación. Si los parámetros del proceso no corresponden a los estándares preestablecidos el proceso se detiene, alertando que existe una situación inestable en el proceso de producción la cual debe ser corregida, con el fin de evitar la producción masiva de partes o productos defectuosos.

Los procesos *Jidoka* son sistemas comparativos de lo ideal o estándar contra los resultados reales de la producción. Existen diferentes tipos de sistemas *Jidoka*: visión, fuerza, longitud, peso, volumen, etc. dependientes del tipo o diseño del producto a fabricar o ensamblar y del estándar seleccionado como medida de calidad.

3.14.- Líneas de montaje

Una vez alcanzado este punto, resulta necesario introducir, debido al fuerte peso que poseen en el documento, los tipos, conceptos y configuraciones principales de las líneas de montaje existentes en la industria actual. Como se puede comprobar (punto 3.7.3)



durante el texto, ya se han visto algunos ejemplos de líneas de montaje, pero resulta necesario realizar un estudio más a fondo.

Resulta necesario aclarar que este apartado no contiene técnicas *Lean Manufacturing* concretas como los puntos anteriores, sino que se expondrán las diferentes opciones existentes en la industria, resaltando aquellas mejores para la implantación y mejora de la filosofía.

3.14.1.- Pequeña introducción histórica

Como es popularmente conocido, *Henry Ford* es considerado como el “padre” de las cadenas de producción modernas utilizadas para la producción en masa. La fabricación de su archiconocido *Ford* modelo T color negro, sentó los principios básicos (uso de partes intercambiables, división, estudio y estandarización del trabajo) de la fabricación en cadena.

La producción en línea tradicional usada por *Ford*, era útil cuando las necesidades de producción son altas y relativamente estables y consistía en disponer los equipos en línea orientados específicamente a la producción del producto. Los puestos de trabajo se situaban a lo largo de una ruta fija de forma que los productos se procesan a través de una secuencia de operaciones idéntica en un mismo orden.

Ford pasó de una fabricación tipo *job shop* donde la producción se realizaba por lotes a una producción *flow shop* donde se producía en unidades (figura 3.14).

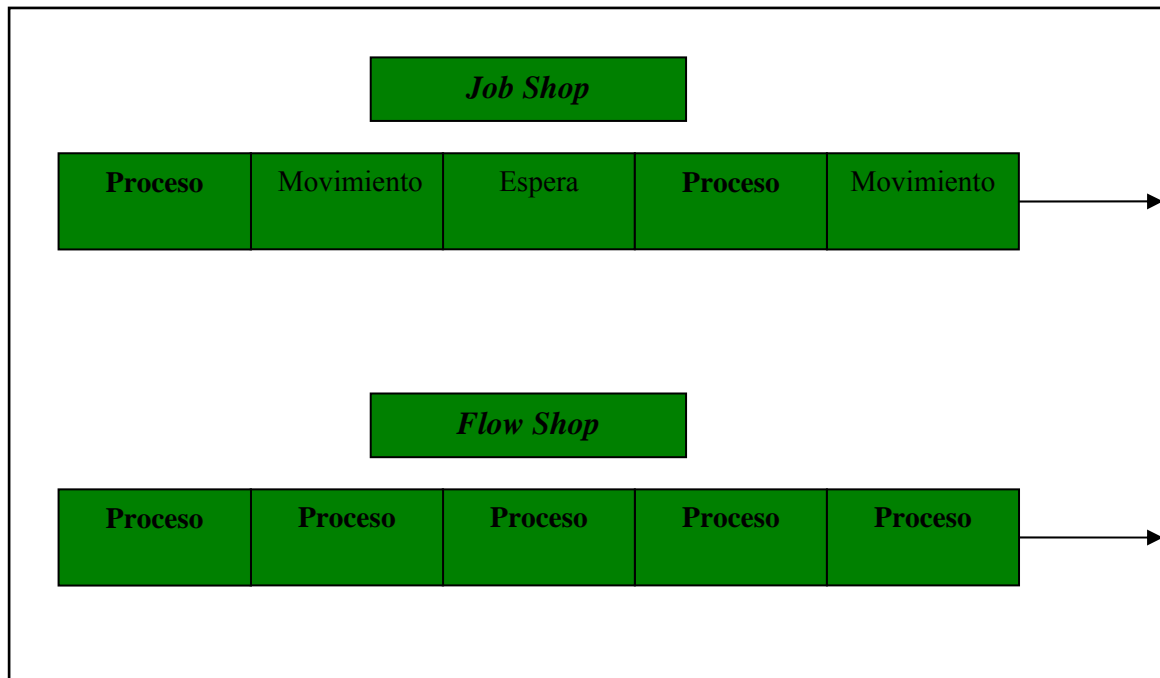


Figura 3.14. Comparación *job shop* vs. *flow shop*

La producción en serie, como era concebida por *Ford*, tenía cabida en el entorno productivo y social de comienzos del siglo XX dónde una alta demanda, escasa competencia y mercados no saturados, justificaban su uso. En la actualidad, como ya se mencionó en el punto 1.1, el entorno existente hace imposible la implantación de líneas de ensamblado según el enfoque tradicional, aunque la idea subyacente pervive.

3.14.2.- Tipos de líneas

En la actualidad son múltiples los diferentes tipos de líneas existentes en la industria. Estas pueden ser clasificadas atendiendo a diferentes aspectos, algunos de los cuales ya se han tratado en el documento (líneas multimodelo y modelo mixto, puntos 3.7.3.1 y 3.7.3.2):

➤ **Según automatización:**

- Manuales
- Automatizadas



➤ **Según productos:**

- Monoproducto
- Multimodelo
- Modelo mixto

➤ **Según flujo de productos:**

- Velocidad fija
- Intermitente

Mención especial requiere la clasificación de las líneas en función de su configuración en planta. La filosofía *Lean* ha popularizado la implantación de líneas con configuraciones en forma de “C” o en “U” frente a las tradicionales líneas de montaje con configuraciones lineales. La implantación de estas líneas, muy enlazadas con la filosofía y objetivos *Lean* y características muy semejantes a las de las células de fabricación (punto 3.11), radica en las ventajas existentes en su utilización:

- Mayor proximidad entre los operarios lo que implica una comunicación fluida entre estos y una mejora en la visibilidad del proceso.
- Mayor detectabilidad de los problemas de calidad y posibilidad de ayuda entre puestos.
- Óptimas para la utilización de trabajadores polivalentes, que rotaran por diferentes puestos de trabajo de la línea aumentando su conocimiento y su capacidad de respuesta ante problemas o incrementos de demanda.

3.14.3.- Diseño de líneas

Antes de comenzar con la enumeración de las etapas del diseño de una línea de ensamblado, resulta imprescindible familiarizarse con los principales conceptos y definiciones:



- **Tarea elemental de trabajo:** cada una de las tareas u operaciones en que puede ser dividido el proceso de forma independiente de otras tareas. El tiempo de cada tarea elemental se representará mediante Te_i , siendo i de la tarea elemental en cuestión.
- **Takt time:** tiempo que transcurre entre la entrada o salida de dos unidades consecutivas de producto en la línea. (punto 3.6).
- **Tiempo de servicio:** parte del *Takt time* que se emplea en un puesto de trabajo para realizar las tareas elementales.
- **Tiempo no productivo:** parte del *Takt time* empleado en tareas no productivas (movimientos, posicionamientos...).
- **Tiempo muerto:** es la resta entre el *Takt time* y los tiempos de servicio y no productivo.

Las operaciones del diseño de la línea, como se ha desprendido de las líneas con las que se comenzaba el apartado, se puede dividir en una serie de etapas, diferenciadas por la tarea concreta a realizar así como en el personal y los medios implicados. Las principales etapas en las que se puede dividir el diseño de una línea de montaje son:

- Análisis de la demanda.
- Análisis de las tareas elementales en las que el proceso puede ser dividido.
- Estimación de los tiempos de cada tarea elemental.
- Análisis de las restricciones de secuencia.
- Diagrama de precedencias del proceso.
- Equilibrado de la línea.
- Consideración restricciones especiales.
- Diseño y ajuste del método de trabajo.



- Puesta en marcha, análisis y Mejora continua del proceso.

Las diferentes etapas, se verán con más detalle en la etapa de diseño e implantación de la línea objetivo, a excepción del equilibrado, que, debido a su radical importancia, se va a ver en profundidad a continuación.

3.14.4.- Equilibrado de líneas

El equilibrado de una línea de montaje es la etapa del diseño que tiene como objetivo distribuir las tareas elementales entre el menor número de puestos de trabajo, buscando la igualdad de carga entre ellos y alcanzando el mínimo de tiempo muerto. Matemáticamente, la expresión objetivo es:

$$N * Tt - \sum_{i=0}^n Tei = 0$$

- N : Número de puestos de trabajo.
- Tt : *Takt time*.
- Tei : tiempo tarea elemental i .

Un ratio que nos orienta sobre la consistencia de un equilibrado es el grado de desequilibrio (D), definido por la expresión:

$$D = \frac{N * Tc - \sum_{i=0}^m Tei}{N * Tc} * 100$$

Para el problema del equilibrado de líneas de montaje son diversas las técnicas que se pueden utilizar. Todas ellas, de dificultad variable, estas diseñadas con el fin de alcanzar el objetivo marcado con anterioridad.



Visto lo anterior, se van a enumerar algunas de las técnicas más comunes y utilizadas en la industria para el equilibrado de líneas, de menor a mayor dificultad y calidad en los resultados, destacando los casos del equilibrado de líneas en “U” y líneas con múltiples modelos.

3.14.4.1.- Heurístico 1

El primero de los métodos heurísticos para el equilibrado de líneas utiliza las dos reglas siguientes:

- De entre las tareas programables asignar al siguiente puesto de trabajo, hasta completar el *Takt time*, aquella con un mayor número de tareas que le suceden.
- En caso de igualdad, asignar primero la tarea de mayor duración.

En este punto es conveniente aclarar que se denomina tarea programable a aquella que aún no ha sido asignada y todas sus predecesoras si lo han sido.

3.14.4.2.- Heurístico 2

En este caso las reglas para la asignación de tareas son:

- De entre las tareas programables asignar al siguiente puesto de trabajo, hasta completar el *Takt time*, aquella con un mayor número de tareas que le suceden inmediatamente.
- En caso de igualdad, asignar las tareas aleatoriamente.

3.14.4.3.- Heurístico 3. Ordenación ponderada de la posición.

- Se calcula una puntuación para cada tarea correspondiente al tiempo que transcurre entre el comienzo de la tarea hasta la finalización de la red.
- Se ordenan todas las tareas de acuerdo a esta puntuación.
- Se van asignando tareas en ese orden a los puestos de trabajo, respetando las restricciones de secuencia y considerando la posibilidad de asignar una tarea



programable de menor puntuación si las de mayor tienen un tiempo superior al disponible en el puesto de trabajo.

- En caso de igual ponderación, asignar tareas programables de forma aleatoria.

3.14.4.4.- Equilibrado de líneas en U

Como ya se comentó en el punto 3.14.2, las líneas con configuraciones en forma de “C” o “U” son las que la filosofía *Lean* considera como las mejores prácticas.

Respecto al problema del equilibrado es necesario establecer que la diferencia principal, entre estas líneas y las de configuración lineal, radica en que en el enfoque tradicional lineal el conjunto de tareas programables, candidatas a ser realizadas en el siguiente puesto de trabajo, esta formado por aquellas tareas cuyas predecesoras ya han sido asignadas. Sin embargo en líneas con configuraciones en forma de “C” o “U” el conjunto de tareas asignables es la unión del subconjunto de las tareas cuyas sucesoras han sido asignadas con el subconjunto formado por las tareas cuyas predecesoras han sido igualmente asignadas a puestos de trabajo.

En este sentido, es posible la utilización de cualquiera de los métodos heurísticos explicados con anterioridad, teniendo en cuenta lo comentado en el párrafo anterior.

3.14.4.5.- Equilibrado de líneas con múltiples modelos

El problema del equilibrado aumenta su complejidad con el aumento de la variedad de los productos a ensamblar. Por este motivo es necesario realizar un profundo estudio para asignar a la misma línea de montaje únicamente referencias tecnológicamente similares o con igualdad en tareas.

Para el equilibrado de líneas con múltiples modelos, una posible solución es utilizar alguno de los métodos anteriores para calcular una solución que cumpla con los objetivos del equilibrado, para cada producto individualmente y, posteriormente con la información obtenida, hallar una solución robusta para el conjunto de los elementos.



Otra herramienta disponible para el equilibrado de este tipo de líneas es la propuesta a continuación, distribuida a lo largo de cuatro etapas:

- 1.- Establecer un período de tiempo T (un turno, un día, una semana) determinado para el que la distribución de trabajo ha de estar equilibrada y calcular el número de unidades de cada modelo que debe ser fabricado en dicho periodo.
- 2.- Calcular las cargas de trabajo de las tareas elementales, teniendo en cuenta pueden existir modelos que necesiten la misma tarea, basándose en los dtos calculados con anterioridad.
- 3.- Utilizar algún procedimiento heurístico, de los ya comentados, para asignar tareas a puestos de trabajo.
- 4.- Al encontrarse con la posibilidad de que existan tareas con una carga de trabajo superior al tiempo T , se pueden situar varios puestos de trabajo en paralelo, desarrollando la misma tarea, con el fin último de mantenimiento de la capacidad y cumplimiento de la demanda.

3.14.4.6.- Condiciones especiales en el equilibrado de líneas

Como último apunte, resulta conveniente apuntar, que determinadas situaciones especiales aparecerán, con cierta asiduidad, en la fase de diseño de la línea, por lo que resultará imprescindible conocerlas y tenerlas en cuenta:

- Considerar la existencia de pérdidas de tiempo debidas a cambios de posición del producto, cambio de herramientas.
- Existencia de tareas que deben realizarse en lugares fijos (tratamientos térmicos, pintura, tratamientos superficiales...).
- Tareas que requieren la participación de más de un operario, como puede ser el manejo de un objeto pesado.
- Tareas con una duración mayor que el *Takt time* establecido.



Capítulo 4.- Descripción y análisis del funcionamiento actual de la línea

4.0.- Objetivos del capítulo

Resulta necesario, como estudio preeliminar a la propuesta de un nuevo diseño, describir y analizar los productos en cuestión, así como las líneas independientes donde son ensamblados en la actualidad, con el fin de conocer las principales características y funcionamiento, tanto de los productos como de sus respectivas cadenas de montaje.

4.1.- Caja de cambios *Prodrive*

4.1.1.- Descripción del producto

La caja de cambios *Prodrive* es en la actualidad un prototipo que nace para sustituir a la caja de cambios Tres Velocidades, montada por *John Deere & Company* en sus equipos cosechadores (recogedores de algodón, máquinas segadoras de forraje automotoras o *SPFH* y cosechadoras) durante más de 30 años. En este periodo la caja de cambios Tres velocidades ha sufrido numerosas mejoras para adaptarse al aumento de peso de los vehículos y de su carga. Estas mejoras no satisfacen, en la actualidad, la totalidad de las necesidades del mercado, donde los planes de futuro se centran en vehículos más grandes, más pesados y con mayor capacidad de propulsión (esfuerzo de torsión y velocidad en tierra).

La figura 4.1 muestra la configuración y la posición que ocupa la caja de cambios en una cosechadora, así como las bombas, motores, mandos finales y ejes relacionados con su funcionamiento.

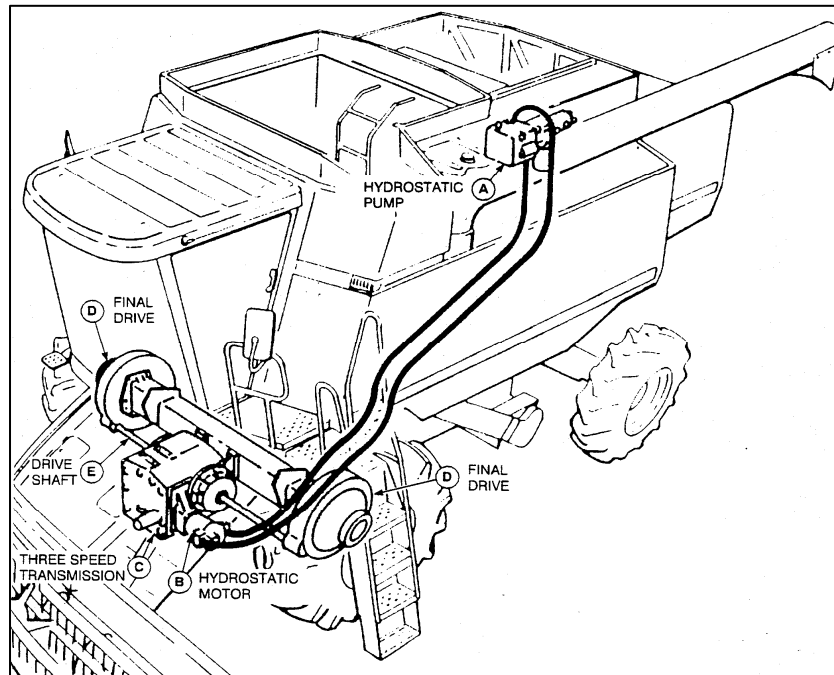


Figura 4.1. Posición caja Tres velocidades en vehículo cosechador

Las principales mejoras mecánicas que se obtienen con la *Prodrive* son: aumento del rango de par, aumento de la velocidad en campo con la posibilidad de alcanzar 40 Km/h en carretera, incremento de prestaciones en cambio de marcha y frenos húmedos

La sustitución de una caja de cambios por otra no será total ya que la caja Tres velocidades seguirá formando parte de aquellos productos sensibles al incremento de coste que la sustitución genera. Por este motivo la Tres velocidades continuará en producción con su configuración actual, aunque con una reducción considerable del número de unidades montadas, y se considerará como transmisión de nivel 1.

4.1.2.- Funcionamiento y características mecánicas

La caja de cambios *Prodrive* es la encargada de la transmisión del movimiento al mando final, alojado en las ruedas delanteras del vehículo cosechador (ruedas motrices), que proporcionará el movimiento de traslación al equipo cosechador. Su fisonomía queda reflejada en la figura 4.2 y en el Anexo II, mediante diferentes vistas del producto, dónde es apreciable su complejidad.

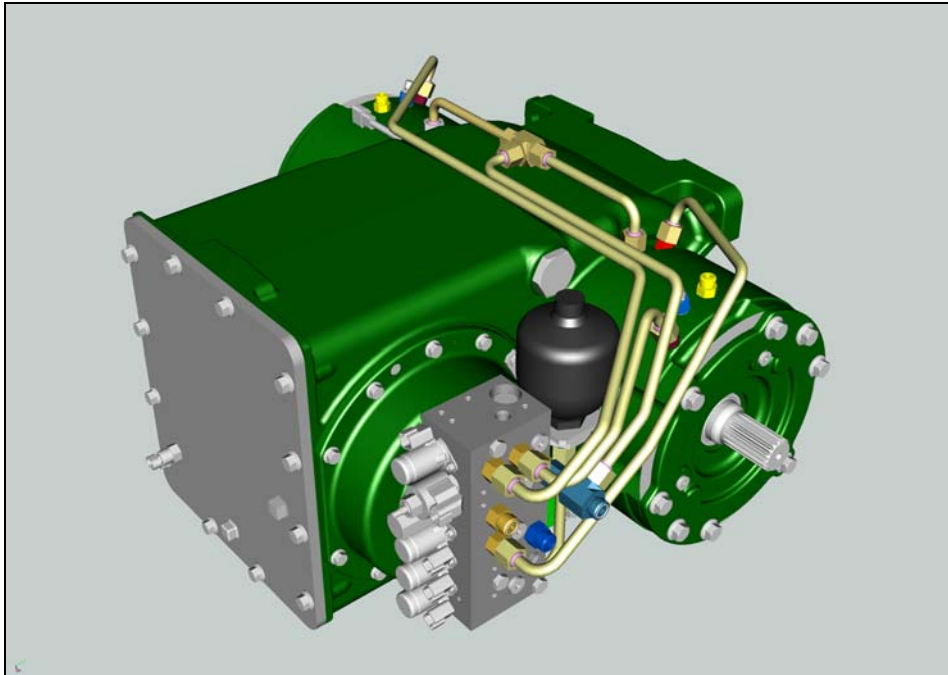


Figura 4.2. Caja de cambios Dos Velocidades

Los vehículos donde la caja de cambios es montada, poseen un único motor térmico (diesel) que es el encargado de generar toda la potencia necesaria para el accionamiento de los diferentes dispositivos del vehículo. Esta potencia es distribuida mecánica e hidráulicamente hasta llegar, en las condiciones necesarias en cada caso, a los diferentes mandos finales.

En el caso estudiado, el motor térmico provocará la circulación del aceite hidráulico a través del circuito correspondiente, aceite, que al llegar a la bomba, experimentará un incremento de presión que provocará el funcionamiento del motor hidráulico. Este motor generará un movimiento de salida en su eje principal caracterizado por girar un número de revoluciones muy elevado a un par de giro bajo. Es en este momento donde entra en funcionamiento la caja de cambios *Prodrive*, convirtiendo este movimiento de escaso par y alto número de revoluciones en el movimiento necesario en el mando final, consistente en girar a pocas revoluciones pero a un elevado momento de giro. La relación de transmisión en este proceso varía en función del vehículo cosechador y de la marcha en la que se encuentre posicionada la caja.



Ya que no todos los vehículos requieren los niveles completos de funcionamiento de la caja de cambios, se podrán montar, en los equipos cosechadores y en las máquinas segadoras de forraje automotoras, dos diseños distintos de la caja de cambios *Prodrive*, denominados como transmisiones de nivel 2 y 3, a elección del cliente. Su diferencia básica radica en que la transmisión de nivel 2 contará con un sistema hidráulico más pequeño, menor capacidad de freno y un diferencial sin posibilidad de bloqueo. En lo que respecta a los equipos recogedores de algodón únicamente será posible montar la caja de cambios de nivel 2.

En conclusión, dentro de la denominación caja de cambios *Prodrive* se engloban cinco referencias distintas, diferenciadas según el nivel y el equipo (recogedores de algodón, máquinas segadoras de forraje automotoras o *SPFH* y cosechadoras) del que formarán parte.

4.1.3.- Montaje

En la actualidad, la línea de montaje de la caja de cambios *Prodrive* provisional debido a que el producto aún se encuentra en la fase de prototipo no comercializable. La línea de montaje en cuestión no está diseñada para conseguir una alta producción. Su función es permitir familiarizarse con el proceso de montaje y producir una serie limitada de productos. Las cajas de cambios ensambladas serán sometidas a diversos estudios y pruebas para la mejora del producto.

Por lo mencionado anteriormente no tiene sentido realizar un estudio en profundidad de la línea actual, como el que a continuación se realizará para el *Crawler*.

Se puede observar (Anexo III) que la línea de montaje de la caja de cambios dos velocidades tiene ocho puestos de trabajo. En seis de ellos se montarán los seis premontajes (diferencial, eje intermedio, hydro, eje de entrada, freno y flores) que constituyen el producto. Los dos últimos corresponden al montaje final, donde, aparte de otras operaciones necesarias, se ensamblarán los diferentes premontajes entre sí, y al banco de pruebas, puesto en el que se realizarán una serie de ensayos (fugas, lubricación, estanqueidad) necesarias para el estudio y mejora del prototipo.



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

Se observa que la línea se distribuye linealmente, donde los diferentes productos intermedios se transportarán manualmente, mediante polipastos y mesas de transporte. Este último apunte es reflejo de la provisionalidad del sistema.

El montaje, propiamente dicho, de la caja de cambios es realizado, en la actualidad, por operarios cualificados, capaces de realizar cualquiera de las operaciones necesarias. Se apoyan en documentos concretos ya definidos, pero abiertos a modificaciones, cómo hojas de ruta, secuencia de eventos (Anexo IV), documentos gráficos, etc.

4.2.- Mando final *Crawler*

4.2.1.- Descripción del producto

El *Crawler*, al contrario que la caja de cambios *Prodrive*, es un producto que se encuentra en la actualidad en producción para su montaje, como mando final, en las series 750J y 850J de la división amarilla de *John deere & Company*, en las instalaciones norteamericanas de la compañía.

Un vehículo perteneciente a las series 750J o 850J montará un mando final *Crawler*, convenientemente adaptado, en cada una de sus orugas laterales, como queda reflejado en las figuras 4.3 y 4.4.



Figura 4.3. *Dozer* serie 850J con indicación posición mando final *Crawler* (derecha)



Figura 4.4. . Detalle mando final *Crawler* (derecha)

Bajo la denominación de series *750J* y *850J* se montan una amplia gama de modelos, con lo que se intenta satisfacer, completamente, las necesidades del mercado. Concretamente son cuatro los modelos montados dentro de la serie *750J* y cinco bajo la *850J*, diferenciándose, todos ellos, en sus características mecánicas y técnicas.

Debido a esta amplia variación de vehículos, se hace necesario adaptar el funcionamiento del *Crawler* a los diferentes requerimientos mecánicos de cada modelo, por ello el *Crawler* posee una gama de cinco modelos, con sus correspondientes variaciones laterales (izquierda y derecha), por lo que son diez las referencias del mando final.

4.2.2.- Funcionamiento y características mecánicas

Las series *750J* y *850J* montan un motor térmico *John Deere PowerTech Plus 6090HT* de 6 cilindros con 6800 cm³ para la primera serie y 9000 cm³ para la segunda. Su potencia varía entre los 108 Kw y los 157 Kw, en función de los diferentes modelos y es el encargado de suministrar toda la potencia mecánica e hidráulica necesaria para el funcionamiento de los diferentes dispositivos. En el caso del *Crawler*, este motor



térmico suministra, mediante válvulas y bombas, potencia a un motor hidráulico. Este motor transmite un movimiento giratorio a un alto número de revoluciones por minuto pero con un par insuficiente para conseguir un movimiento óptimo de las cadenas u orugas de tracción del vehículo. Es en este momento donde cobra sentido la utilización del *Crawler* ya que el motor hidráulico transmitirá su movimiento rotatorio y este, mediante una doble reducción del movimiento, conseguirá un movimiento caracterizado por un bajo número de revoluciones y un elevado par, movimiento que engrana directamente con las orugas para conseguir el movimiento final del vehículo.

4.2.3.- Montaje

El mando final *Crawler* es montado en una línea de montaje con una configuración espacial en forma de “H”. Como muestra la figura 3.1, en cada uno de los vértices del *lay-out* son montados, en puestos de trabajo independientes y por un único operario, los cinco diferentes premontajes que forman el mando final (Anexo II). Estos, una vez ensamblados, son transportados y posicionados, mediante caminos de rodillos y volteadores, hasta la zona central de la línea para su ensamblaje final, en otro puesto de trabajo. Cabe mencionar que tanto la corona como el tambor comparten puesto, pero su transporte se realiza por caminos diferentes.

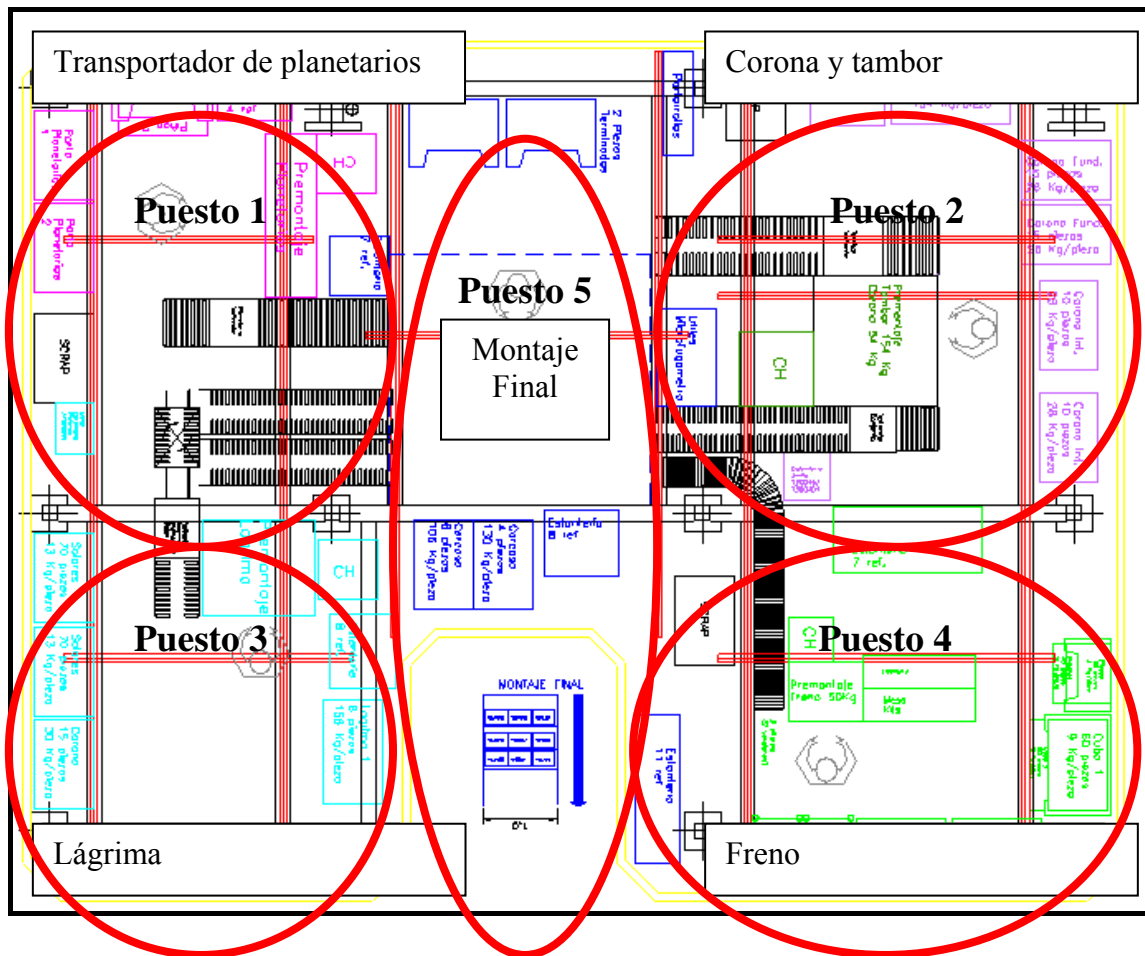


Figura 4.5. *Lay-out Crawler*

Como se puede desprender del párrafo anterior, la línea está compuesta por cinco puestos de trabajo en los que se realizan diferentes operaciones de montaje. Estas operaciones se encuentran perfectamente definidas mediante diferentes documentos como hojas de ruta, secuencia de eventos, diagramas gráficos, lista de materiales, y planos, como marca la estandarización del trabajo (Anexo III).

Es importante mencionar que en la actual célula se trabaja a tres turnos. En cada turno trabajan tres operarios cualificados que rotan por los diferentes puestos de montaje. Cada día de trabajo se montan una media de doce mandos finales listos para su exportación, con los cuales se cubre la demanda actual.



4.2.4.- Análisis del funcionamiento actual

Es necesario resaltar que, para el análisis realizado en el presente punto, se utilizan diferentes herramientas como son: el análisis cuantitativo de datos, recopilación de reclamaciones de los clientes (internos y externos), propuestas del personal implicado, operarios principalmente, durante el transcurso de las reuniones en las que se participó y la observación directa del funcionamiento actual. *Lean manufacturing* hace especial hincapié en conocer el problema directamente, de primera mano, en bajar al puesto de trabajo y cuestionarse todo, a preguntarse el “¿por qué?” de las cosas. Por este motivo la mayoría de los despilfarros detectados se deben a la evaluación directa y crítica del proceso productivo, realizada durante el largo tiempo que se pasó *in situ*, en el puesto de trabajo, observando el proceso productivo y comunicándose con los operarios.

4.2.4.1.- Lay-out

El principal problema que aparece en el diseño del *lay-out* actual es la configuración existente, representada en la figura 4.5. Dicha configuración, junto a otras causas que se tratarán con posterioridad, provoca la aparición de diferentes despilfarros en forma de defectos, accidentes, aumento de tiempos y transportes y desperdicio de la capacidad del personal.

Como se observa en la figura 4.5, y en unión con lo ya comentado en el punto anterior, el proceso de montaje del mando final *Crawler* se desarrolla en cinco puestos de trabajo distribuidos en forma de “H”. Como ya es conocido, en cada uno de los vértices se ensamblan los diferentes premontajes, compartiendo la corona y el tambor puesto, realizándose en el puesto central el montaje final.

Cada uno de los operarios implicados, tres como es conocido, se sitúan en los puestos de trabajo uno, dos y tres dónde se abordará el montaje de la lágrima, del transportador de planetarios, del tambor y de la corona. La decisión que se toma es la de asignar al operario uno el puesto de trabajo uno (transportador de planetarios), al operario dos el puesto dos (corona y tambor), dónde debe comenzar con el montaje del tambor ya que su necesidad en el ensamblado final es anterior al de la corona, y al operario tres el puesto de trabajo tres (lágrima). El operario dos, tras la finalización de su tarea, rota al



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

puesto de trabajo cuatro para abordar la fabricación del último premontaje, el freno, mientras que el operario uno rota hacia el puesto de trabajo cinco para la realización del montaje final. El operario número tres, tras el montaje de la lágrima, rotará hacia puestos de trabajo libres para comenzar la fabricación del siguiente producto. El transporte de cada uno de los premontajes, tras su finalización, se realiza mediante caminos de rodillos hacia el puesto de trabajo número cinco.

Cada uno de los puestos de trabajo existentes en la línea, contiene todo el material, utillaje y herramientas necesarios para abordar la fabricación. Los puestos uno, dos, tres y cuatro consisten en mesas de trabajo, situadas ergonómicamente, donde el operario realiza las operaciones manuales, y prensas aladañas que son usadas en diferentes operaciones, consistiendo el quinto puesto en un banco de trabajo donde se desarrollarán todas las operaciones necesarias en esta parte del proceso. El movimiento del producto en el puesto se realiza mediante polipastos y, como ya se ha comentado, este se encuentra aprovisionado de todo el material necesario, distribuido, por regla general, en contenedores estándar por el perímetro, las referencias voluminosas, o en estanterías, las consumibles.

En la línea actual no existe *stock* intermedio en curso, ya que, como se adelantó en el apartado 3.6.2.3, la coincidencia entre la secuencia de tareas y la ruta estándar establecida, junto a la inexistencia de tiempo máquina, implica la no utilización de *stock* intermedios.

En referencia al *stock* de las diferentes referencias situadas en cada uno de los puestos de trabajo, viene impuesto por el sistema de aprovisionamientos utilizado, *Kanban* en este caso.

Tras el análisis de lo comentado en los párrafos anteriores y la observación de la figura 4.5 se identifican puestos de trabajo aislados, formando “islas” de montaje ya que, aunque el espacio que los separa es corto, para llegar de uno a otro resulta necesario superar un gran número de obstáculos como pallets, caminos de rodillos, maquinaria, etc. Igualmente se puede apreciar en la figura falta de espacio y dificultad para acceder a los materiales y herramientas. Estos problemas provocan principalmente aislamiento



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

entre puestos, lo que dificulta enormemente la comunicación y la rotación de los operarios, y el aumento de tiempos de transporte y movimiento, que implican un tiempo estándar elevado. Los problemas detectados, y los despilfarros que de ellos se derivan, contribuyen, en mayor o menor medida, a la aparición de defectos en el producto final, que la compañía cuantifica económicamente mediante el gasto incurrido en garantías (tabla 4.1) y a las quejas de los operarios por las condiciones de trabajo, puestas de manifiesto durante el desarrollo de las reuniones, consistentes en falta de ergonomía y espacio en la célula.

Tabla 4.1. Cuantificación de los gastos de garantía año 2.006

Problema	Costo
Par de los tornillos	256.876,00 USD
Problemas con el retén	124.240,00 USD
Fallo rodamientos	39.564,00 USD
Ruidos en engranajes	12.679,00 USD
Defectos de fundición	12.289,00 USD
Total	445.648,00 USD

La tabla 4.1 refleja el gasto en que el corporativo ha incurrido, debido a las reparaciones que han sido realizadas durante el período de garantía de los equipos, achacables a los defectos existentes en el mando final *Crawler*. Se menciona que no todo el gasto de garantías reflejado es achacable al diseño del *lay-out*, pero una mejora en este implicaría su reducción.

La actual línea carece, igualmente, de una zona habilitada para el reproceso del material defectuoso. Este espacio, a crear, debe ser visual, flexible, accesible y estar habilitado para solventar los diferentes problemas que pueden aparecer en los productos. Normalmente dichos problemas deben ser resueltos, en el puesto donde aparecen, por los operarios cualificados mediante el flexeo, pero cuando surgen dificultades anormales, su resolución, y su posterior devolución a la línea, deben realizarse en esta zona de reproceso (*rework*), inexistente en la línea actual. El material defectuoso o no reprocesable, igualmente conocido como *scrap*, también carece de zona hábil, lo que



implica problemas en su colocación e identificación. La zona de *scrap* resulta necesaria para evitar confusiones entre estos materiales y los aptos para la fabricación, como queda reflejado en la figura 4.6, donde aparece una carcasa del mando final. Esta carcasa no es procesable en la línea debido, como se puede observar, a su alto nivel de oxidación. Debido a la inexistencia de la zona de *scrap* y a la falta de control visual, algún operario podría cometer el error de utilizarla con todos los defectos que derivarían.



Figura 4.6. *Scrap*

Lean manufacturing se decanta por configuraciones en “C” o en “U” para conseguir un proceso perfectamente visible en todas sus fases y facilitar la ayuda mutua entre operarios, situados en diferentes puestos de trabajo. Estas configuraciones facilitan la rotación diaria de los trabajadores cualificados entre los distintos puestos aumentando la flexibilidad de la línea.

Con su futura implantación se persiguen objetivos de reducción en el movimiento y transporte de materiales, reducción de tiempos de proceso, mejora en la visibilidad y



flexibilidad de la línea, aumento de la seguridad y en definitiva la eliminación de los despilfarros existentes.

4.2.4.2.- Aprovevisionamiento interno

Aunque el sistema de aprovisionamiento es un tema complejo que afecta a un gran número de áreas operativas de la compañía (logística, compras, fabricación...), desde la cadena de montaje se puede actuar para la obtención de un mejor funcionamiento del sistema y evitar el principal despilfarro que de él deriva: las esperas.

Las esperas es un despilfarro no solo existente en la línea de montaje del *Crawler* sino que es común a un gran número de células de mecanizado y montaje de *John Deere Ibérica*, debido, principalmente, a la falta de material en los puestos de trabajo. Esta falta de material es achacable a los diferentes proveedores de material y al sistema logístico existente en la compañía, lo que implica que para su reducción y eliminación resultará necesario un estudio intenso que no afecte únicamente a la compañía de puertas a dentro, sino que la participación de los diferentes proveedores resultará imprescindible.

La tabla 4.2 y la figura 4.7 muestran las diferencias reales existentes entre la producción planificada y la real para el año 2.006. La diferencia existente entre producciones reales y planificadas no es únicamente achacable al sistema de aprovisionamiento actual de la línea, pero, debido a que el principal motivo, según las hojas de incidencia, de parada en la línea es la falta de material, se puede afirmar que en un no determinado pero alto porcentaje, esta diferencia es achacable a los problemas derivados del aprovisionamiento. Otro efecto visible en el proceso provocado por la falta de materiales el alto número de *WIP* existente siempre en la línea, que aparece como resultado de que el operario afronte determinadas operaciones contrarias al estándar, ante la imposibilidad de realizar las que este marca debido a la falta de material, con el fin de evitar tiempos improductivos.

Tabla 4.2. Producción mensual por referencia. Real vs. Planificada. Año 2.006



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

CRAWLER														FY06			
		Working days		21	20	22	22	17	19	25	5	19	19				
Product Family	Past Due	Month			ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	
750LT		Planify			12	32	18	18	21	26	21	24	17	15	28	17	
		Real			12	30	15	18	21	24	19	23	17	15	25	17	
750LGP		Planify			20	20	19	12	29	33	13	25	20	21	37	28	
		Real			19	20	19	12	27	31	13	25	20	20	36	26	
850LT		Planify			15	23	29	10	22	20	12	20	18	17	30	18	
		Real			15	21	28	10	22	20	12	20	18	17	27	18	
850WT		Planify			26	8	26	25	42	22	12	16	20	16	40	24	
		Real			25	8	26	24	42	22	12	16	20	16	35	24	
850LGP		Planify			8	8	12	13	12	12	4	12	12	8	5	3	
		Real			8	8	12	13	12	12	3	12	12	8	5	2	
TOTAL		Planify			69	59	86	60	105	87	41	73	70	62	112	73	
		Real			67	57	85	59	103	85	40	73	70	61	103	70	

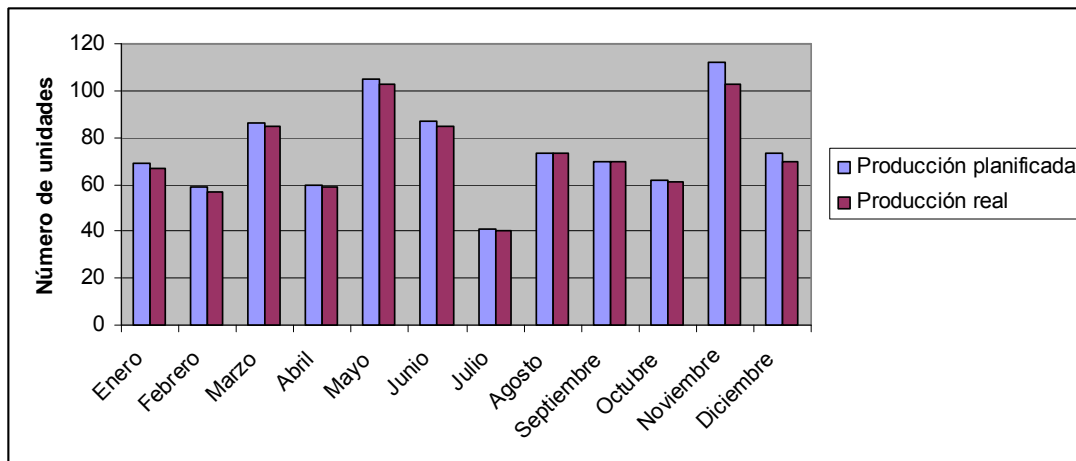


Figura 4.7. Producción planificada vs. Producción real. En número de unidades agregadas

En la figura anterior se muestran unidades agregadas por mes, es decir la suma total de la unidades, planificadas o reales, de cada referencia del *Crawler*.



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

Todo sistema de aprovisionamiento es posible dividirlo en dos: interno y externo. El primero se refiere al suministro del material necesario entre los almacenes o células propias de la compañía y los diferentes puestos de trabajo de la línea, siendo el segundo imputable a los proveedores externos a la organización. Debido a la ubicación del segundo, dentro del departamento de compras, al cual no se tuvo acceso, y a sus características, más alejado de la producción propiamente dicha y no visible en la línea de montaje, tanto en la actual como en la futura, se toma la decisión de mantenerlo al margen del presente estudio. Destacar que las futuras menciones al sistema de aprovisionamiento harán referencia siempre al sistema de aprovisionamiento interno.

Enlazando el párrafo anterior con la tabla 4.2 se afirma nuevamente que, las diferencias existentes entre producciones, real y planificada, son asignables a diferentes causas, siendo, entre ellas, la principal el sistema de aprovisionamiento, como se refleja en las hojas de incidencias. De entre las distorsiones achacables al aprovisionamiento habrá que diferenciar las que se pueden asignar al sistema interno y al externo. Esta diferenciación no se puede realizar objetivamente en la actualidad, ya que para el operario, que es el que detecta la falta de material, no es posible diferenciar si el error es debido a un error interno de la compañía (identificación o ubicación incorrecta de la referencias tanto en el almacén como en la línea, fallo del sistema de aprovisionamiento, etc.) o es imputable a proveedores externos.

Tras lo comentado con anterioridad resulta pertinente realizarse la siguiente pregunta: ¿en que porcentaje es achacable los problemas de falta de material al sistema de aprovisionamiento interno? La cuestión anterior se resuelve, ante la imposibilidad de obtener datos objetivos, preguntando directamente al jefe de producto, responsable del sistema de aprovisionamiento interno y enlace con el departamento de compras, el porcentaje de incidencias de falta de material achacables al sistema de aprovisionamiento interno. La respuesta dada fue del 75% es decir, la mayor parte de los fallos en el proceso de aprovisionamiento son asignables al proceso interno, desde el almacén a la línea objeto.

En resumen, se puede afirmar que en la línea de montaje actual *Crawler*, como se puede apreciar nuevamente en la figura 4.7, aparecen discordancias entre la producción



planificada y la real, debido, en su mayor parte a la falta de material, como se desprende de las hojas de incidencias existentes y al alta cantidad de *WIP* observado en la línea, causada principalmente, según el jefe de producto, por el sistema de aprovisionamiento interno.

Los despilfarros derivados al aprovisionamiento interno expuestos con anterioridad (falta de material, alto porcentaje de *WIP*, no cumplimiento del estándar, inconsistencia con el programa de producción planificado, esperas...), eran conocidos por la organización antes del comienzo del estudio. Para su eliminación, desde el personal responsable, se lanzó el proyecto de implantación en la línea de montaje del método *Kanban* (punto 3.8), método que estaba vigente durante la realización del presente proyecto y la recogida de información y toma de datos en la línea. Debido a esa vigencia y al proceso de preguntarse el “¿por qué?” de todo, surgió la siguiente pregunta: ¿por qué si un método tan potente como *Kanban* está implantado, aún aparecen despilfarros relacionados con la falta de material, imputable al propio aprovisionamiento interno de la línea?. La respuesta a esta pregunta, y a la ineficiencia del método *Kanban*, estaba en el número de tarjetas. No fue necesario recalcular el número de tarjetas, de movimiento en este caso, según las formulas vistas en el apartado 3.8.3, ya que el personal implicado es experto en estas técnicas, sino que el problema estaba en que el número de tarjetas, existentes no coincidía con el calculado, es decir, un determinado número de tarjetas estaban perdidas. Esto no permitía el correcto aprovisionamiento de la línea y provocaba los despilfarros ya mencionados. Resulta imprescindible comentar que este problema, que *a priori* puede parecer trivial, es el principal motivo de que un sistema *Kanban* no alcance los objetivos para los que ha sido diseñado.

Este problema se puede intentar atajar mediante la implantación de dispositivos que realicen correctamente la función de tarjetas *Kanban* y dificulten su pérdida, como pueden ser sistemas basados en códigos de barra y escáneres. Esta tecnología dificultaría el extravío, ya que las tarjetas verían limitado su recorrido a la propia célula.

Como último apunte se puede mencionar que, aunque como se ha comentado el aprovisionamiento externo de la línea no se tratará en el documento debido a sus



características, las posibles mejoras en el aprovisionamiento externo pueden consistir en renegociación de contratos, mejoras de las comunicaciones cliente-proveedor (*EDI*), formación de grupos de trabajo conjuntos...

4.2.4.3.- Procesos

Algunas de las operaciones que se realizan en el proceso de montaje pueden eliminarse, simplificarse, modificarse o ser automatizadas. Con ello se busca reducir los tiempos de operación, aumentar la flexibilidad y la capacidad de la línea, eliminar los defectos existentes en la actualidad y reducir los niveles de siniestralidad.

Los diferentes desperdicios que a continuación se muestran, han sido detectados, debido a su naturaleza, tras la observación directa en la línea o por la recopilación de información en las diferentes reuniones en las que se participó. Tras el posterior análisis de la información recogida, se presentan aquellos despilfarros cuya posibilidad de mejora es mayor y los beneficios a obtener mayores a corto plazo.

- Las ineficiencias en el proceso de embalaje provocan problemas de seguridad y calidad. Este despilfarro fue detectado por el cliente tras comprobar la inconsistencia de los anclajes a la llegada a sus instalaciones (figura 4.8), lo que provocó devoluciones de productos golpeados y deteriorados durante el transporte. Este problema aparece debido a que el sistema de anclaje elegido para posicionar y fijar el mando al palet de transporte, obviamente, no es el correcto.

El proceso de embalaje será modificado en dos sentidos, inicialmente se modificará el proceso propiamente dicho, para garantizar el correcto anclaje del producto y con ello la eliminación de los despilfarros mencionados, y posteriormente, se creará un nuevo puesto en la línea a diseñar, fuera del montaje final, dónde se realizarán diferentes operaciones, entre ellas el embalaje, con el fin de alcanzar un mejor equilibrio. Estas modificaciones no implicarán un cambio radical en el funcionamiento actual, ya que únicamente consistirán en la modificación del número y situación de los puntos de anclaje y en trasladar el embalaje a otro puesto independiente del montaje final.



Figura 4.8. Rediseñar proceso de embalaje

- El par de apriete necesario en algunos elementos del mando final se da mediante llaves dinamométricas (figura 4.9). En la actualidad, el operario cualificado, en un primer paso, rosca los correspondientes tornillos mediante pistolas neumáticas y, en un segundo, aplica los correspondientes pares de apriete con las ya mencionadas llaves. Este proceso puede ser automatizado, mediante sistemas neumáticos que, correctamente programados, roscarían los correspondientes tornillos al par marcado por la tolerancia en una única operación. Con esta mejora se lograría una reducción en movimientos, tiempos de operación y en el número de defectos, que son los despilfarros que aparecen en este proceso.

La implantación de esta automatización no presenta dificultades, ya que el nuevo funcionamiento sería idéntico al actual, debido a que el mecanismo neumático realizaría las dos operaciones, roscado inicial y apriete, en una única operación, en la que en la actualidad únicamente se rosca el tornillo. Algo que si resultará necesario será familiarizar al personal cualificado con la nueva función de la herramienta.



Figura 4.9. Par de aprietes mediante llaves dinamométricas

- Existen procesos en los que aparecen retrasos y, como se verá más adelante, problemas de calidad debido al uso de herramientas mal diseñadas o poco precisas, donde la mejora del proceso consistirá en el rediseño de los útiles y herramientas implicados.
- En el montaje del mando final *Crawler* se utilizan una serie de elementos adhesivos y fijadores, conocidos por su nombre comercial: *loctite*. Debido a su incorrecta aplicación, el cliente corporativo ha detectado un importante número de defectos tras las averías aparecidas en productos ya comercializados. Una de estos defectos es el mostrado en la figura 4.10, donde aparece la carcasa desmontada de un *Crawler* comercializado. Tras el desmontaje del mando final, fue fácil comprobar cómo el *loctite* (rosa) no fue correctamente aplicado por toda la superficie de la carcasa y el aceite lubricante (marrón) fugo con facilidad. Para la subsanación de este defecto se decidió modificar el proceso de aplicación del adhesivo, pasando de aplicarlo directamente con el envase en que es comercializado dicho *loctite* a utilizar un rodillo. Con anterioridad se obtenía un cordón heterogéneo en la superficie, mientras que con la utilización del rodillo

se obtiene una cantidad homogénea de adhesivo, lo que impide la aparición de fugas. Con este cambio no se modificó el proceso propiamente dicho aunque resultó necesario modificar la secuencia de eventos y la hoja estándar de operaciones, debido a la introducción de nuevo utillaje.

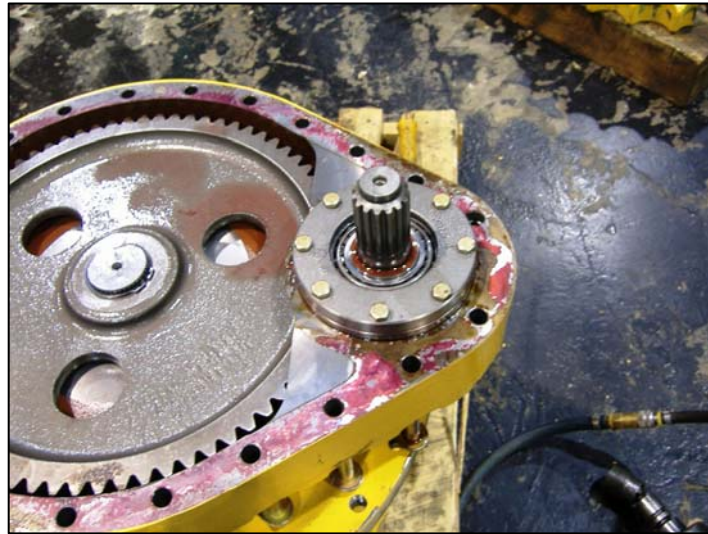


Figura 4.10. *Loctite* mal aplicado. Necesario diseñar útil especial para su aplicación

- Un nuevo despilfarro en forma de defecto es el relacionado con el correcto montaje de ferodos y chapas en el freno. Nuevamente, este despilfarro, fue detectado por el corporativo, en el proceso de garantía, tras la avería detectada por el cliente. Este despilfarro ocurre, como parece en la figura 4.11, cuando el operario comete el error de no alternar, como marca la secuencia de operaciones y la hoja estándar, el montaje de los ya comentados ferodos y chapas.

Para evitar la aparición de este error, resulta necesario modificar el proceso con la introducción de un sistema *Poka-yoke* a prueba de errores. El *Poka-yoke* en el que se ha pensado consiste en un dispensador inteligente doble, en el las chapas y los ferodos serán suministrados en espacios independientes. Para evitar el error, en un primer momento, únicamente estará hábil el espacio de las chapas de freno. Una vez que el operario se provea de una chapa para su montaje



Capítulo 4. Análisis del funcionamiento actual de la línea

inmediato, el dispensador actúa inhabilitando el espacio de chapas y haciendo lo contrario en el de ferodos y a sí sucesivamente.

Los sistemas *Poka-yoke* están muy arraigados en la industria y no será difícil encontrar esta solución en el mercado.



Figura 4.11. Necesidad de diseñar un *Poka-yoke* para el correcto montaje del freno. Los ferodos y las chapas deben ser alternos

Como último apunte, y para demostrar objetivamente la gravedad de los defectos que aparecen en el ensamblaje del mando final *Crawler*, y la obligatoriedad, por parte del personal involucrado, de su eliminación, se aporta el siguiente dato: el gasto en garantías incurrido, por el corporativo, en solventar defectos de fabricación y montaje del *Crawler* asciende a 445.649 USD.



Capítulo 5.- Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje para los productos *Prodrive* y *Crawler*

Una vez conocida la base teórica del proyecto y el entorno físico en el que se desarrolla, el presente capítulo se centra en el diseño original y la implantación física de la nueva línea de montaje de los productos *Prodrive* y *Crawler*.

Para el desarrollo, se seguirá el esquema que marca el *Lean Manufacturing* para el diseño de líneas de montaje, y se utilizará, como guía, los documentos internos que maneja el corporativo, como parte del *Deere Production System*, para tal fin.

5.0.- Definición de productos

Los productos que nos ocupan, *Crawler* y *Prodrive*, han quedado perfectamente definidos en puntos anteriores (capítulo 4) y anexos (II, IV, V y VI), por lo que resulta innecesario volver a abordar este tema.

Alcanzado este punto resulta conveniente aclarar para el montaje de que productos se va a diseñar la línea de montaje. De la información aportada en el cuarto capítulo, se desprende que bajo la denominación de *Prodrive* y *Crawler*, se engloban diferentes modelos, concretamente cinco en el caso del primer producto (apartado 4.1.2) y diez, considerando la variación derecha-izquierda (punto 4.2.1), para el segundo. Tras la revisión de la totalidad de las listas de materiales y de las tareas necesarias para el montaje de los cinco modelos *Prodrive*, por un lado, y los diez *Crawler*, por otro, se observa que los diferentes modelos de cada uno de los productos coinciden en un 100% en el proceso de montaje y en un 95% en los componentes que las forman, correspondiendo a este 5% de variación componentes que, con la misma función, diseño y estructura, únicamente se diferencian en su tamaño o disposición espacial,

Esta igualdad justifica la decisión de que en la línea de montaje objetivo se va a considerar únicamente un modelo de cada uno de los productos. En el documento, los dos productos a fabricar, se conocerán como *Prodrive* y *Crawler* sin entrar en consideraciones respecto al modelo.



5.1.- Previsión de la demanda

La previsión es una proyección de la demanda esperada en el futuro, dadas unas determinadas condiciones de entorno, ya que la empresa necesita prever con el fin de planificar sus actividades, entre ellas su producción.

Ya que la obtención de la previsión de la demanda no es uno de los objetivos del presente proyecto, unido a que es un dato calculado con anterioridad por la organización, y reflejado en su plan de producción, en el presente estudio nos limitaremos a apuntar su valor, para los diferentes productos, sin ahondar más en su obtención.

5.1.1.- Caja de cambios *Prodrive*

La *Prodrive*, como se ha mencionado en ocasiones anteriores, es, en la actualidad, un prototipo diseñado para ser montado, en el futuro, en los equipos cosechadores *John Deere & Company* sustituyendo a la actual caja Tres velocidades. Por este motivo para la previsión de la demanda de la *Prodrive*, la organización ha utilizado, junto a otros estudios de mercado, producción y logística, los datos históricos existentes de la demanda de la caja de cambios Tres velocidades.

En la tabla 5.1 aparece la previsión de la demanda, en unidades de producto, para el año fiscal, desde noviembre de 2.009 a octubre de 2.010, junto a los días laborables. Igualmente, en dicha tabla, aparece el cálculo de la demanda a capacidad (D_c), que el cociente entre el número de unidades a producir y el número de días disponibles para cada mes.

Tabla 5.1. Previsión de la demanda mensual 2 velocidades.

	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
2 Sp	120	175	281	189	254	198	367	276	289	15	94	109	2367
Trab.	21	13	21	20	22	17	20	21	22	2	19	22	220
Dc	6	14	14	10	12	12	19	14	14	8	5	5	11



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tras observar la gráfica se puede observar que el pico de producción máxima, en número de piezas a fabricar por mes, corresponderá al mes de mayo; siendo el valor de producción mínima para el mes de agosto, coincidiendo con las vacaciones estivales de las diferentes plantas.

En la figura 5.1 se representan gráficamente los resultados obtenidos.

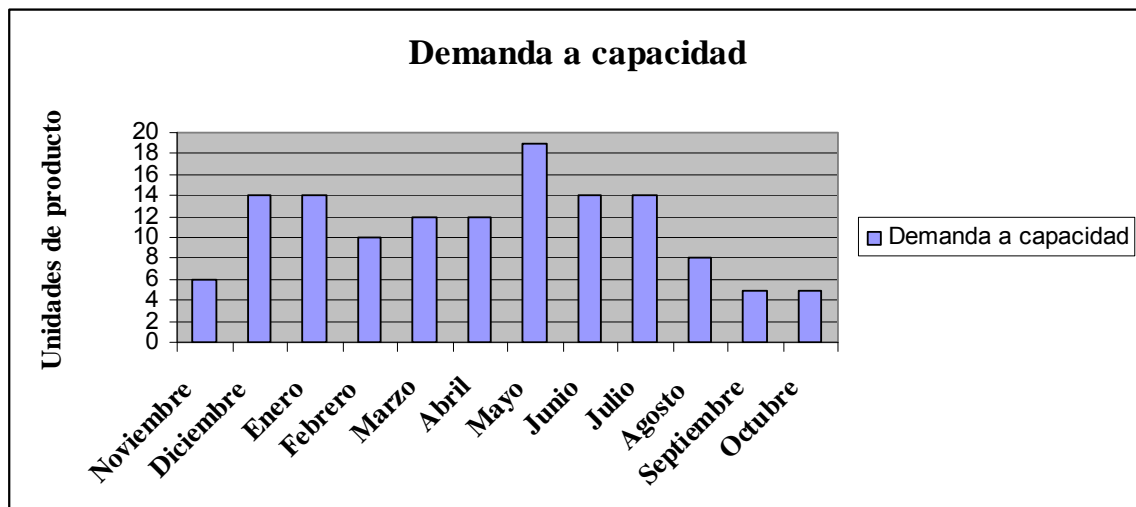


Figura 5.1. Demanda a capacidad mensual

5.1.2.- Mando final *Crawler*

Como ya es conocido, el mando final se encuentra en plena producción, por lo que el valor de su demanda es conocido. Realizando los mismos cálculos que en el punto anterior se obtiene el valor de la demanda capacidad (D_c) para el mando final *Crawler* (tabla 5.2).



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.2. Previsión de la demanda mensual Crawler

	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Crawler	132	114	150	158	156	190	156	150	148	13	150	196	1713
Trab.	21	13	21	20	22	17	20	21	22	2	19	22	220
Dc	7	9	8	8	8	12	8	8	7	7	8	9	8

La demanda a capacidad calculada en la tabla anterior se representa gráficamente en la figura 5.2, donde se puede observar que, en este caso, la producción máxima se alcanza en el mes de abril, correspondiendo al mes de agosto la producción mínima, al igual que ocurría en el caso anterior.

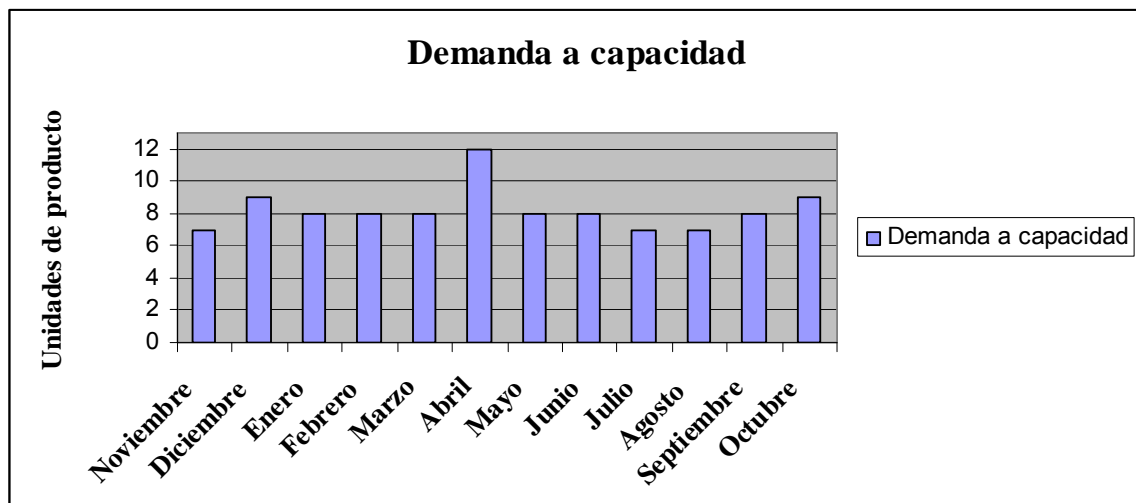


Figura 5.2. Demanda a capacidad mensual.

El estudio analítico y gráfico de la demanda de los diferentes productos a ensamblar vistas a lo largo de este punto, nos provee de información útil para dimensionar la línea y dotarla de la capacidad necesaria, para asegurar su robustez ante las variaciones de la demanda.



5.2.- Tipo de línea de montaje

Históricamente, en los entornos industriales y productivos, las líneas de montaje se han diseñado para la dedicación exclusiva a un único producto. En el proyecto que nos ocupa, se ha descartado la utilización de líneas de modelo único, eligiendo como configuración de línea la opción multiproducto (apartado 3.14.2).

Como ya se apuntó con anterioridad (puntos 3.7 y 3.14.2), dentro de la configuración multiproducto, existen dos opciones diferentes: línea multimodelo y línea de modelo mixto. Se puede decir que el enfoque *Lean* se decanta, generalmente, hacia el segundo tipo debido a que en general se puede ajustar mejor a las variaciones en la demanda y evita gran parte de las irregularidades que provocan los lotes aguas arriba de la cadena de suministros.

Por las razones descritas en los párrafos anteriores, se selecciona el modelo mixto como tipología a implantar.

En referencia a la disposición en planta de la línea de montaje, como ha quedado justificado en el punto 3.14.2, resulta necesario seleccionar una configuración en forma de “U”.

5.3.- *Takt time*.

Cómo ya vimos anteriormente (punto 3.6), el *Takt time* marca el ritmo de producción necesario para responder a la demanda, según la expresión:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ Diario\ Efectivo}{Demanda\ Requerida}$$

5.3.1.- Cálculo *Tiempo Diario Efectivo*

El *Tiempo Diario Efectivo* se define como las horas efectivas reales de las que dispone cada operario para realizar sus tareas de producción.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Se calcula restando a las horas de trabajo disponible por operario, ocho en la jornada típica laboral española, el tiempo necesario para realizar descansos, reuniones, entrenamiento y tareas de limpieza. Este tiempo no debe reducirse por retrasos debidos a averías de máquina, tiempos de espera de materiales, reproceso, etc., ya que estas pérdidas deben considerarse como despilfarros a eliminar.

Por convenio se establece que el valor del *Tiempo Diario Efectivo* se encuentra entre 7,5 y 7,25 horas. Para nuestro diseño utilizaremos el valor:

$$\textit{Tiempo Diario Efectivo} = 7,25 \text{ h}$$

Dicho valor corresponde al *Tiempo Diario Efectivo* por turno. En la actualidad en la línea de montaje del *Crawler*, que es, de las dos líneas objeto de estudio, la única que se encuentra en plena producción, se trabaja a tres turnos. Para el diseño de la línea de montaje objetivo, se considerarán dos turnos con el propósito de reducir costes al eliminar uno de los turnos y reservar capacidad ante posibles cambios al alza de la demanda. Por todo lo anterior el *Tiempo Diario Efectivo* que se considerará en el estudio será:

$$\textit{Tiempo Efectivo} / \textit{día} = 7,25 \text{ horas} * 2 \text{ turnos} = 14,5 \text{ horas} / \textit{día} = 870 \text{ min} / \textit{día}$$

5.3.2.- Cálculo *Demanda Requerida*

Con anterioridad, hemos realizado el estudio de la demanda para los dos productos a ensamblar en nuestra línea, de manera aislada, pero, llegados a este punto, resulta necesario realizarlo de manera conjunta.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.3. Previsión de la demanda mensual

	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Craw	132	114	150	158	156	190	156	150	148	13	150	196	1713
2 Sp	120	175	281	189	254	198	367	276	289	15	94	109	2367
Total	252	289	431	347	410	388	523	426	437	28	244	305	4080
Trab.	21	13	21	20	22	17	20	21	22	2	19	22	220
Dc	12	23	21	18	19	23	27	21	20	14	13	14	19

En la tabla 5.5 aparece la demanda prevista en unidades de producto por mes, para cada uno de los productos. Pero, como ya se ha comentado, debido a la tipología de nuestra línea de montaje, resulta necesario agregar estos datos, independientemente del modelo al que pertenezcan.

La demanda a capacidad (D_c) calculada en la tabla 5.3 se representa en la figura 5.3 donde se puede observar la variación anual que sufre la demanda de los productos considerados de forma conjunta, situando su máximo en los meses de abril, mayo y junio y su mínimo en los meses de octubre y diciembre

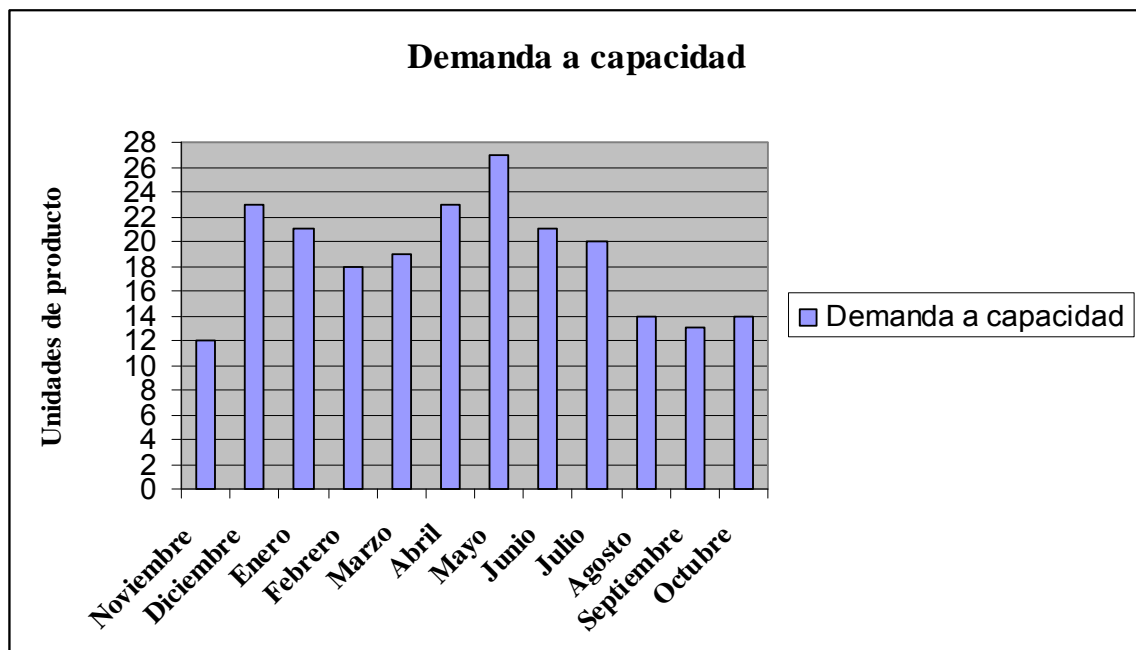


Figura 5.3. Demanda a capacidad mensual.



Como se puede observar gráficamente, el valor de la demanda a capacidad (Dc) varía mes a mes, hecho que puede hacer surgir la duda de que valor utilizar para el cálculo del *Takt time*. El sistema a diseñar, debe ser capaz de responder a las variaciones de demanda que se produzcan durante el periodo de estudio, por lo que resulta necesario dotar a nuestro sistema de la capacidad necesaria para responder al valor máximo de demanda. Por este motivo el valor de Dc será el correspondiente al mes de mayo.

Este último apunte puede hacer caer en el error, de que durante el periodo de tiempo en que la demanda sea inferior a su valor máximo, en el sistema existirá un exceso de capacidad, con la consiguiente aparición de despilfarro en forma de stock, personal no operativo, consumo excesivo de recursos, etc. *Lean manufacturing* aborda este tema manteniendo flexible la capacidad mediante: horarios flexibles, rotación de operarios cualificados entre células, horas extra, etc. Esta flexibilidad en la capacidad permitirá a la compañía responder y adaptarse a los cambios en la demanda.

5.3.3.- Cálculo *Takt time*

Según lo expuesto en los puntos anteriores:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ Diario\ Efectivo}{Demanda\ Requerida}$$

$$Takt\ time = \frac{7,25\ h * 60\ min * 2\ turnos}{27} = 32,22\ min/unidad$$

5.4.- Diagrama de precedencias

El diagrama de precedencias representa gráficamente el proceso de manufactura necesario para completar un producto. Cada tarea, del proceso, es representada mediante un nodo que contiene la información básica de la tarea.

Para abordar la realización del diagrama de precedencias, resulta necesario conocer las tareas elementales, sus tiempos de realización y las restricciones de secuencia del



proceso. Se define tarea elemental como cada una de las operaciones en que puede ser dividido el proceso independientemente de otras

Para la obtención de esta información, resulta necesario realizar, a priori, un estudio de métodos y tiempos para la determinación de las mencionadas operaciones elementales y sus tiempos, como ya se apuntó en el punto 3.6.1, como fase inicial de la estandarización. Este proceso de estudio de métodos y tiempos, fue acometido por la organización con anterioridad a la realización del presente documento, quedando definida toda la información en diferente documentación. Entre esta podemos destacar las secuencias de eventos (Anexos IV y VI) y las diferentes hojas estándar de operación (Anexo VII).

5.4.1.- Caja de cambios *Prodrive*

Como ya se ha comentado en diversas ocasiones, la caja de cambios *Prodrive* es en la actualidad un prototipo. Al encontrarse en esta etapa, existen ciertos documentos, necesarios para la producción, que aún no se ha abordado su realización, están incompletos o no se encuentran al detalle necesario. Este es el caso del estudio de tiempos, ya que la organización maneja los tiempos necesarios para realizar tareas concretas (premontajes, montajes finales...) pero no ha calculado los tiempos de las tareas elementales.

Los tiempos de las tareas elementales son necesarios pero no imprescindibles, ya que se cuenta con el valor de los tiempos de tareas agregadas. Durante la realización del proyecto, no se ha podido realizar la medición de las tareas elementales debido a que es un tema conflictivo entre empresa y trabajadores, ya que el sueldo variable de estos dependerá en gran medida de los tiempos que se les asigne para realizar dichas tareas,

Por lo comentado, para el presente estudio, se posee la información reflejada en la tabla 5.4, que muestra las 21 operaciones en que se ha dividido el proceso con sus respectivos tiempos, medidos en minutos estándar, y sus restricciones de secuencia. Resulta necesario apuntar, que los tiempos mostrados en la tabla, corresponden a tiempos manuales, ya que en el proceso en cuestión no existe tiempos máquina, debido a que en las operaciones en las que es necesario el uso de maquinaria, principalmente prensas, el



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

operario encargado participa en todo el proceso y por ese motivo los tiempos máquina son considerados como manuales

Tabla 5.4. Tareas caja de cambios *Prodrive*

Tarea	Descripción	Predecesoras inmediatas	Duración (min Std.)
T1	Premontaje bloque diferencial	-	23,948
T2	Premontaje eje intermedio	-	3,514
T3	Premontaje hydro	-	1,846
T4	Premontaje eje de entrada	-	39,821
T5	Premontaje freno derecho	-	18,762
T6	Premontaje freno izquierdo	-	18,762
T7	Premontaje flores	-	5,521
T8	Preparar kit de montaje	-	1,650
T9	Posicionar carcasa en banco	-	2,170
T10	Montaje diferencial y eje interm.	T1, T2, T8, T9	3,190
T11	Montaje flor lado diferencial	T7, T10	5,107
T12	Montaje tapa eje de entrada	T11	4,598
T13	Montaje flor lado corona	T7, T12	2,784
T14	Montaje eje de entrada	T4, T13	10,950
T15	Montaje hydro	T3, T14	1,926
T16	Montajes varios 1	T15	5,230
T17	Montaje freno derecho	T5, T16	2,784
T18	Montaje freno izquierdo	T6, T16	2,784
T19	Montaje tapa CE18969	T17, T18	5,568
T20	Montajes varios 2	T19	5,230
T21	Test (control de calidad)	T20	68,000

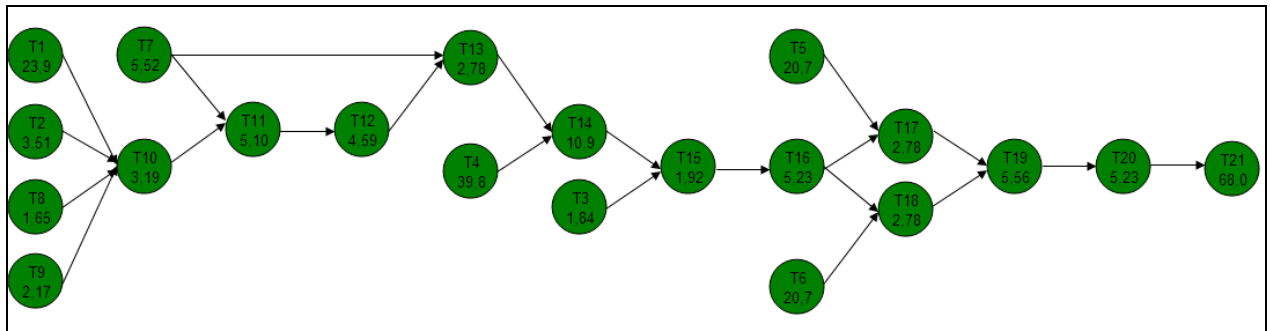


Figura 5.4.- Diagrama de precedencias *Prodrive*

El diagrama de precedencias que se muestra en la figura 5.4 no es un diagrama al uso, ya que aún no se han incluido las tareas a realizar en cada puesto de trabajo, y únicamente se ha adjuntado con el fin de tener una visión gráfica del proceso y cual podría ser su cronología.

Las tareas de asignación de puestos de trabajo y equilibrado de la línea se realizarán con posterioridad, cuando el conocimiento sobre los procesos de montaje y sus características aumente.

5.4.2.- Mando final *Crawler*.

La documentación que la organización posee respecto al montaje del *Crawler* es amplia. Entre esta se encuentra la secuencia de eventos (Anexo VI), que muestra las tareas elementales del proceso. En este caso, el mencionado documento, a diferencia de la *Prodrive*, incluye los tiempos de operación de las tareas elementales, hecho que permitirá realizar un mejor diseño e implantación de la línea objetivo. Resulta necesario aclarar que, como ocurría en el caso de la *Prodrive*, los tiempos dados corresponden a tiempos manuales en su totalidad, debido a que, de la misma forma que en el caso anterior, las operaciones en las que es necesaria la participación de máquinas, necesitan, en toda su duración, la participación del personal operario.

Para hacer más comprensible el proceso de montaje del *Crawler*, se han resumido las tareas en la tabla 5.5.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.5. Tareas mando final *Crawler*

Tarea	Descripción	Predecesoras inmediatas	Duración (min Std.)
T1	Premontaje corona	-	12,355
T2	Premontaje tambor	-	16,650
T3	Premontaje freno	-	24,864
T4	Premontaje transp. planterarios	-	26,366
T5	Premontaje lágrima	-	47,195
T6	Montaje final	T1,T2,T3,T4,T5	229,047

Cabe mencionar que aunque en el proceso de montaje final se han señalado como predecesoras las tareas correspondientes a los premontajes, no es necesario tener todos los premontajes terminados para comenzar el montaje final ya que estos se ensamblaran en diferentes momentos. ¿En que etapas se puede dividir el montaje final? Y ¿en que momento del ensamblaje resulta necesario tener listo cierto premontaje?, son preguntas que se responderán cuando se aborde el tema de la asignación de tareas a los puestos de trabajo y el equilibrado de la línea.

5.5.- Equilibrado de la línea

En referencia al problema del equilibrado de la línea se toma la decisión de hallar soluciones aceptables para cada uno de los productos, considerados individualmente y, posteriormente, establecer una solución de distribución de puestos de trabajo que sea robusta para la producción de ambos modelos con el mínimo de tiempo muerto.

Para el equilibrado individual de los productos se utilizará la ordenación ponderada de la posición (punto 3.14.4.3), teniendo en cuenta que la línea tendrá una disposición en planta en forma de “U” (punto 3.14.4.4).

5.5.1.- Caja de cambios *Prodrive*

En esta etapa del diseño de la caja de cambios *Prodrive*, se van a utilizar los datos reflejados en la tabla 5.4.

Si observamos dichos datos, la primera conclusión que se extrae, a simple vista, es que existen tareas con un tiempo de operación mayor que el *Takt time* calculado, que se



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

recuerda que es de 32,22 min/unidad. Esta situación, que es una de las condiciones especiales enumeradas en el apartado 3.14.4.6, obliga a situar varios puestos de trabajo en paralelo. En este sentido, menciono especial necesitan la tarea T21 (control de calidad), ya que al ser su tiempo de proceso hasta cuatro veces superior al *Takt time*, resulta necesario tomar decisiones distintas a la situación de puestos de trabajo en paralelo. Esta se toma en el sentido de que el test de calidad no es una tarea de montaje propiamente dicha y dificulta, en gran medida, el proceso del equilibrado, por lo que esta tarea no se tendrá en cuenta y deberá ser asumida, por otras áreas de la organización.

Los resultados obtenidos para la primera iteración del proceso de equilibrado se muestran en la tabla 5.6. Cabe mencionar, al ser una línea con configuración en forma de “U” que las ponderaciones corresponden al máximo entre la suma del tiempo de la tarea en cuestión y sus sucesoras, y la suma del tiempo de dicha tarea y sus predecesoras.

Tabla 5.6. Primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T20	máx (166,145 , 5,23)

De la tabla anterior se desprende que la primera tarea asignada es la T20 con una duración de 5,23 minutos, lo que implica que al puesto de trabajo aún le restan 26,99 minutos de tiempo no asignado. La asignación de la tarea T20 libera a la tarea T19, que entra en el grupo de las programables.

Tabla 5.7. Segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T19	máx (160,915 , 10,79)

De la tabla anterior se desprende que se asigna al actual puesto de trabajo la tarea T19, con lo que le resta al puesto 21,422 minutos de tiempo no asignado. Las tareas T17 y T18 pasan a ser programables.

Tabla 5.8. Tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T17	máx (132,801 , 13,582)
T18	máx (132,801 , 13,582)

En esta iteración se puede elegir indistintamente las tareas T17 o T18 al tener la misma ponderación. Se selecciona la T17 para ser realizada en el actual puesto de trabajo, por lo que le restan 18,638 minutos de tiempo no asignado. Ya que la asignación de la tarea T17 no libera ninguna otra tarea, la nueva tabla de ponderación únicamente excluirá la tarea T17 al haber sido ya asignada.

Tabla 5.9. Cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T18	máx (132,801 , 13,582)

Según la tabla anterior, la tarea con una mayor ponderación de entre las programables es la tarea T18, por lo que se asigna al puesto de trabajo actual y, debido a la duración de esta nueva tarea asignada, 2,784 minutos, el tiempo disponible en el puesto se reduce a 15,854 minutos. Las asignaciones de las tareas T17 y T18 convierten a la tarea T16 en programable.

Tabla 5.10. Quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T16	máx (112,255 , 21,596)

Se asigna al puesto de trabajo la tarea T16 con una duración de 5,23 minutos, lo que fija el tiempo disponible del puesto de trabajo en 10,624 minutos y hace entrar en el grupo de las programables a la tarea T15.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.11. Sexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T15	máx (107,025 , 21,596)

Se asigna al puesto de trabajo actual la tarea T15, ya que, como marca el heurístico utilizado, es la de mayor ponderación. La asignación de la tarea T15 implica incluir a la tarea T14 en el grupo de las tareas programables y el nuevo tiempo disponible en el puesto es de 8,698 minutos.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.12. Séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T2	máx (3,514 , 53,665)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T14	máx (103,253 , 34,472)

Según se ha mantenido durante todo el proceso de equilibrado, la tarea a asignar en este momento sería la T14, ya que es la que posee una mayor ponderación, pero, debido a que su duración, 10,95 minutos, excede el tiempo disponible en el puesto, se seleccionara la tarea programable con mayor ponderación que tengan una duración igual



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

o menor a la del tiempo disponible. Esta tarea es la T2 con una duración 3,514 minutos, lo que deja el tiempo restante en el puesto en 5,184 minutos.

Tabla 5.13. Octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T9	máx (2,17 , 52,321)
T14	máx (103,253 , 34,472)

Como en el caso anterior la tarea con mayor ponderación, T14, no puede ser asignada ya que su tiempo de operación es superior al disponible en el puesto de trabajo. De la misma forma se selecciona de entre las tareas de duración igual o menor al tiempo disponible, aquella con mayor ponderación, en este caso la tarea T9 con una duración de



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

2,17 minutos, lo que implica que el tiempo disponible en el puesto se reduzca a 3,014 minutos.

Tabla 5.14. Novena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T8	máx (1,65 , 51,801)
T14	máx (103,253 , 34,472)

Nuevamente la tarea programable con mayor ponderación es T14, pero, como ya se ha comentado, no es asignable al superar el tiempo disponible en el puesto. En este caso se selecciona la tarea asignada es T8. Al asignar esta última tarea, obtenemos un tiempo muerto, para el puesto de trabajo actual, de 1,364 minutos.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.15. Décima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T14	máx (103,253 , 34,472)

Al estar el nuevo puesto de trabajo por completar, en este caso se elige la tarea T14. El tiempo disponible en el puesto es de 21,27 minutos. La asignación de T14 convierte en programable a T13.

Tabla 5.16. Undécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T7	máx (5,521 , 52,482)
T13	máx (52,482 , 37,256)

Como en situaciones anteriores, la tarea con mayor ponderación es la T4, pero debido a que su duración excede a la disponible en el puesto no es asignable. La tarea con una duración igual o menor a la disponible en el puesto de trabajo, con mayor ponderación es la T7. Con esta asignación, el tiempo disponible en el puesto se reduce a 15,749 minutos.

Tabla 5.17. Duodécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T13	máx (52,482 , 37,256)

Nuevamente la tarea con mayor ponderación no es asignable. Seleccionamos la tarea T13, con una duración de 2,784 minutos, con lo que el tiempo restante en el puesto es de 12,965 minutos. La asignación de la tarea T13 implica incluir dentro del grupo de las programables la tarea T12

Tabla 5.18. Decimotercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T12	máx (49,698 , 41,854)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

De la misma manera que en iteraciones anteriores, la tarea con mayor ponderación es no asignable. Se asigna al puesto la tarea T12 con una duración de 4,598 minutos. El tiempo disponible en el puesto quedará en 8,367 minutos. Tras asignar la tarea T12 al puesto de trabajo, la tarea T11 se convierte en asignable.

Tabla 5.19. Decimocuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T11	máx (45,100 , 46,961)

Siguiendo el mismo razonamiento, se asigna al puesto la tarea T11, con una duración de 5,107 minutos, al puesto de trabajo. El tiempo restante en este será de 3,260 minutos y, tras la asignación, la tarea T10 será programable.

Tabla 5.20. Decimoquinta iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)
T10	máx (45,100 , 46,961)

Se elige la tarea T10 como la tarea a asignar al puesto de trabajo, por las razones ya explicadas. La duración de la tarea asignada es de 3,190 minutos, lo que implica que el tiempo restante en el puesto es de 0,07 minutos, tiempo que se considerará como tiempo muerto del presente puesto al no poder ser asignadas más tareas.

Tabla 5.21. Decimosexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T4	máx (39,821 , 74,293)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)

En este punto se aborda lo comentado al comienzo del apartado. En este momento, la tarea T4 es la tarea a asignar. Debido a su excesiva duración, 39,821 minutos, para proceder a su desarrollo, resultará necesario situar dos puestos de trabajo en paralelo. Tras la asignación de la tarea T4, el tiempo disponible en el puesto es de 24,619 minutos.

Tabla 5.22. Decimoseptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (23,948 , 74,099)
T3	máx (1,846 , 25,368)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)

Según la ponderación se asigna la tarea T1, con una duración de 23,948 minutos, lo que implica que el tiempo disponible restante en el puesto sea de 0,671 minutos. Dicho tiempo, al no existir tareas con una duración menor o igual, será considerado como tiempo muerto.



Tabla 5.23. Decimoctava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (1,846 , 25,368)
T5	máx (18,762 , 32,344)
T6	máx (18,762 , 32,344)

Dadas las ponderaciones, es indistinto asignar al siguiente puesto de trabajo la tarea T5 o la T6. Se toma la decisión de asignar al siguiente puesto de trabajo la tarea T5.

Tabla 5.24. Decimonovena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (1,846 , 25,368)
T6	máx (18,762 , 32,344)

En la tabla anterior, se observa que, por ponderación, la siguiente tarea a asignar sería la T6, pero debido a que, como ocurría en iteraciones anteriores, su tiempo excede del tiempo disponible en el puesto se asigna al puesto de trabajo la tarea T3. El tiempo muerto del puesto de trabajo formado por las tareas T5 y T3 asciende a 11,612 minutos.

La última tarea a programar es la T6, que será la única a realizar en el último puesto de trabajo. Este tendrá un tiempo muerto de valor 13,458 minutos.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tras la realización del equilibrado, la configuración de la línea de montaje, considerando únicamente la caja de cambios dos velocidades, tiene la forma que muestra la figura 5.5.

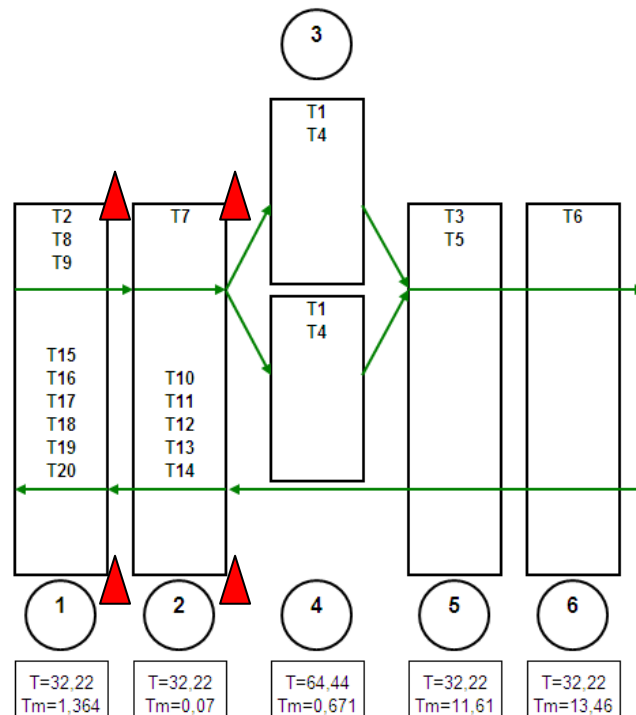


Figura 5.5. Línea de montaje en “U” Prodrive

En la figura anterior, a parte de la disposición de los diferentes puestos de trabajo y el flujo de materiales (flechas verdes), se observa los tiempos disponibles, en minutos estándar, de cada puesto de trabajo, ya que, como se comentó en el proceso de equilibrado y se observa en la figura, existen puestos de trabajo situados en paralelo, debido a las operaciones que en estos se realizan. De igual forma, se proporciona el dato de los tiempos muertos, igualmente en minutos estándar, de los diferentes puestos de trabajo. Estos tiempos muertos, que son aceptables, a excepción de los dos últimos puestos de trabajo, no se comentarán ya que el objetivo es el equilibrado de la línea que engloba a ambos productos.



El proceso de montaje que la figura 5.5 representa, se desarrolla en dos flujos: superior e inferior. Los puestos de trabajo números uno y dos realizarán tareas en ambos flujos, mientras los puestos de trabajo tres, cuatro, cinco y seis únicamente realizarán tareas en el superior. El proceso comienza en el puesto de trabajo número uno donde el operario uno realiza, en primer lugar las tareas T2, T8 y T9 y, tras la finalización de estas, hace avanzar al producto al puesto de trabajo dos y se desplaza hacia el flujo inferior donde realizará las tareas T15, T16, T17, T18, T19 y T20 en una unidad diferente que vuelve. En este punto resulta necesario resaltar que para evitar paradas en la línea, y debido a que el operario uno realiza tareas en ambos flujos de la línea, se sitúa entre los puestos de trabajo uno y dos un *stock* de trabajo en curso o *buffer*, representado en la figura anterior mediante triángulos rojos, consistente en una unidad de producto.

Tras la finalización de las operaciones del flujo inferior del puesto uno, se obtiene una unidad de producto terminada y el operario uno vuelve a realizar las operaciones del flujo superior sobre una nueva unidad de producto que entra en la línea.

El funcionamiento del puesto de trabajo dos es análogo al anterior. Una vez finalizadas las tareas del flujo superior del puesto uno, como se ha comentado, el producto avanza al puesto número dos, donde el segundo operario realiza la T7. Después de la finalización de la tarea, el producto avanza según el flujo superior, mientras que el operario se desplaza en el puesto para realizar las operaciones del flujo inferior (T10, T11, T12, T13, T14). En este punto, de la misma forma que ocurría en el caso del puesto de trabajo número uno, se sitúa un *buffer* intermedio a la entrada del puesto de trabajo número. Sin esta cantidad de *stock* en curso las paradas en el puesto de trabajo serían seguras, ya que el operario trabaja en ambos flujos de circulación.

En referencia a los puestos de trabajo tres y cuatro, como ya se ha comentado, son puestos de trabajo situados en paralelo, debido a que el tiempo necesario para realizar las tareas asignadas, que asciende a 63,769 minutos, supera al tiempo de ciclo establecido. Las operaciones que en ellos se realizan son las mismas, T1 y T4, pero cada producto pasará únicamente por uno de los puestos de trabajo. El funcionamiento de esta parte de la línea resulta más sencillo explicarlo gráficamente.

La figura 5.6 representa el estado de la línea para un hipotético momento, que para el caso, se ha definido como tiempo cero. En la figura se observan los puestos de trabajo dos, tres, cuatro y cinco, el flujo de materiales y los productos. Los diferentes productos *Prodrive* se han representado mediante un número para diferenciarles y un código de colores. El color naranja indica producto no completado, es decir, las tareas que se han de realizar en el puesto no han terminado, eso si están finalizadas en un tiempo igual al *Takt time*, y los productos rojos indican que no se ha iniciado ninguna de las tareas asignadas al puesto.

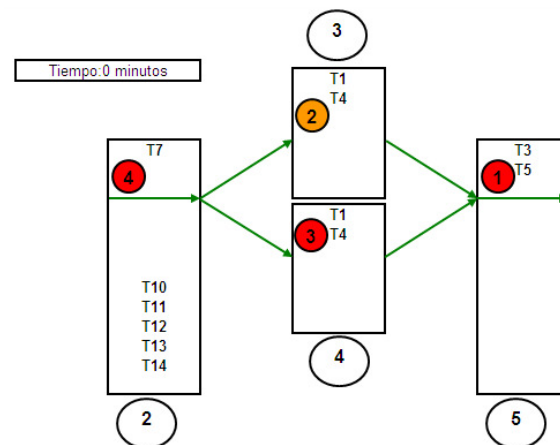


Figura 5.6. Ejemplo flujo de material *Prodrive*

Según la figura anterior, en el momento “cero” en el puesto de trabajo dos está el producto cuatro sin elaborar, en el puesto tres el producto dos semielaborado, en los puestos cuatro y cinco los productos tres y uno, respectivamente, sin elaborar. Si se hace avanzar al proceso se obtiene lo representado en la figura 5.7.

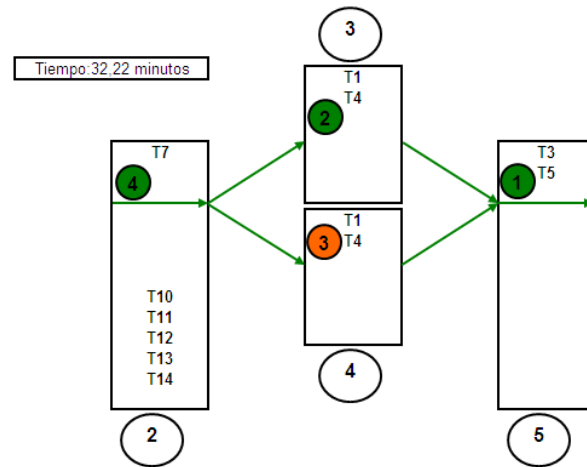


Figura 5.7. Ejemplo flujo de material *Prodrive*

Se observa como en los puestos de trabajo dos, tres y cinco, se encuentran, respectivamente, los productos cuatro, dos y uno. Estos productos han sido representados en verde ya que las tareas asignadas en los puestos que ocupan han terminado en diferentes momentos, eso si dentro del *Takt time* establecido. El producto tres es un producto semielaborado (el tiempo de las tareas realizadas en él coincide con el *Takt time*). La figura 5.8 representa el estado de la línea en el instante siguiente al anterior.

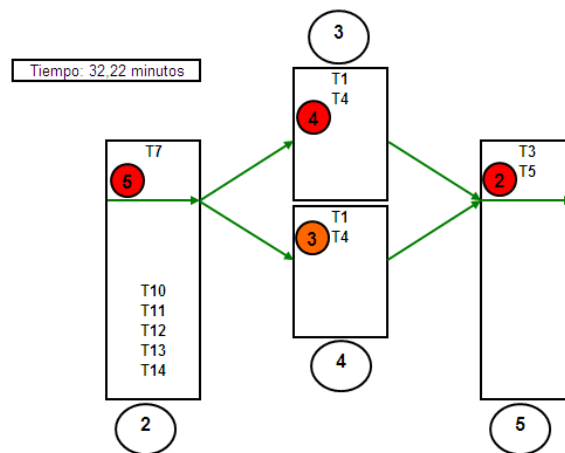


Figura 5.8. Ejemplo flujo de material *Prodrive*



Se observa en la figura anterior como el producto uno avanza hacia el puesto, no representado, seis, el producto dos al puesto cinco. Respecto al producto cuatro avanzará hacia el puesto de trabajo libre de los que están situados en paralelo, es decir hacia el puesto tres. El producto tres se mantiene en el puesto de trabajo cuatro al no estar finalizadas las tareas.

Como se desprende de los párrafos anteriores en los puestos de trabajo tres y cuatro existirá siempre un pequeño *buffer* de producto, consistente en una unidad de producto en el que se han realizado 32,22 minutos de las tareas T1 y T4, con el objetivo del cumplimiento del *Takt time*.

Respecto al flujo en los puestos de trabajo cinco y seis, como se observa en la figura 5.5, únicamente se realizarán tareas en el flujo superior de la línea.

5.5.2.- Mando final *Crawler*

Como ya se ha mencionado en el punto 5.4.2, en el caso concreto del *Crawler*, se dispone de toda la información respecto a la división del proceso en tareas elementales y sus tiempos. Aunque para realizar el equilibrado resultaría necesario considerar las tareas elementales individualmente e ir asignándolas a los diferentes puestos de trabajo según marque el heurístico seleccionado, en este caso se no va a proceder de esta forma, sino que, como en el caso anterior, para el equilibrado, se van a considerar agrupaciones formadas por un determinado número de tareas elementales.

Esta decisión se toma debido a la necesidad de realizar todas las tareas elementales de cada premontaje en un puesto de trabajo determinado, para aprovechar sinergias y debido a la utilización de prensas, que si decidiéramos realizar un determinado premontaje en diferentes puestos de trabajo nos obligaría a duplicar, con el consiguiente incremento de coste.

Mención especial requiere el montaje final ya que, al conocer las tareas elementales que lo forman, sus restricciones y tiempos, y al no existir sinergias que resulten necesarias aprovechar, ni maquinaria pesada a utilizar en toda su elaboración, se podrá dividir en



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

diferentes etapas, a distribuir en diferentes puestos, y realizar un equilibrado más ortodoxo.

Resumiendo, en el equilibrado del mando final *Crawler* se van a considerar tareas a asignar en los diferentes puestos de trabajo los cinco premontajes (corona, tambor, freno, transportador de planetarios y lágrima) y las 49 tareas elementales que forman, según Anexo IV, el proceso de montaje final. Se refleja esta última idea, junto a tiempos y restricciones en la tabla 5.25. Resulta necesario aclarar que esta tabla ya fue introducida con anterioridad (tabla 5.5), en el apartado 5.4.2, con la diferencia que la presentada a continuación divide el montaje final en 49 tareas elementales. Ambas tablas con coherentes una con otra ya que la suma de las tareas en que se ha dividido el montaje final, coincide con la anteriormente establecida (tabla 5.5) y es igual a 229,047 minutos estándar.

Tabla 5.25. Tareas, tiempos y restricciones montaje *Crawler*

Tarea	Descripción	Predecesoras inmediatas	Duración (min Std.)
T1	Premontaje corona	-	12,355
T2	Premontaje tambor	-	16,650
T3	Premontaje freno	-	24,864
T4	Premontaje transp. planetarios	-	26,366
T5	Premontaje lágrima	-	47,195
T6	Tarea 1 montaje final	-	5,277
T7	Tarea 2 montaje final	T6	2,895
T8	Tarea 3 montaje final	T7	6,509
T9	Tarea 4 montaje final	T8	3,812
T10	Tarea 5 montaje final	T9	1,271
T11	Tarea 6 montaje final	T5, T10	7,987
T12	Tarea 7 montaje final	T11	5,359
T13	Tarea 8 montaje final	T12	4,168
T14	Tarea 9 montaje final	T13	2,602
T15	Tarea 10 montaje final	T2, T14	4,984
T16	Tarea 11 montaje final	T15	3,162
T17	Tarea 12 montaje final	T1, T16	4,066
T18	Tarea 13 montaje final	T17	22,176



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T19	Tarea 14 montaje final	T18	4,127
T20	Tarea 15 montaje final	T19	2,803
T21	Tarea 16 montaje final	T20	0,666
T22	Tarea 17 montaje final	T21	2,924
T23	Tarea 18 montaje final	T22	4,984
T24	Tarea 19 montaje final	T23	3,162
T25	Tarea 20 montaje final	T24	4,066
T26	Tarea 21 montaje final	T25	13,552
T27	Tarea 22 montaje final	T4, T26	12,320
T28	Tarea 23 montaje final	T27	7,125
T29	Tarea 24 montaje final	T28	4,045
T30	Tarea 25 montaje final	T29	4,415
T31	Tarea 26 montaje final	T30	4,615
T32	Tarea 27 montaje final	T31	3,699
T33	Tarea 28 montaje final	T32	0,862
T34	Tarea 29 montaje final	T33	4,706
T35	Tarea 30 montaje final	T34	3,799
T36	Tarea 31 montaje final	T35	0,887
T37	Tarea 32 montaje final	T3, T36	5,096
T38	Tarea 33 montaje final	T37	4,127
T39	Tarea 34 montaje final	T38	2,485
T40	Tarea 35 montaje final	T39	7,351
T41	Tarea 36 montaje final	T40	9,660
T42	Tarea 37 montaje final	T41	0,990
T43	Tarea 38 montaje final	T42	1,191
T44	Tarea 39 montaje final	T43	0,706
T45	Tarea 40 montaje final	T44	1,210
T46	Tarea 41 montaje final	T45	1,376
T47	Tarea 42 montaje final	T46	4,538
T48	Tarea 43 montaje final	T47	4,353
T49	Tarea 44 montaje final	T48	8,997
T50	Tarea 45 montaje final	T49	5,647
T51	Tarea 46 montaje final	T50	4,961
T52	Tarea 47 montaje final	T51	4,336
T53	Tarea 48 montaje final	T52	2,702
T54	Tarea 49 montaje final	T53	2,296

Una vez reflejadas las tareas a asignar, sus tiempos y restricciones, y, actuando de la misma forma, mediante el heurístico de la ordenación ponderada de la posición, que en



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

el apartado anterior, se comienza a realizar el equilibrado de la línea del mando final *Crawler* de manera independiente.

Antes de comenzar el proceso iterativo resulta necesario comentar que en esta ocasión, debido a que el método es ya conocido, se actuará de una manera y rápida, no entrando, al no ser necesario, al detalle de los cálculos.

La primera decisión que se va a tomar consiste en la no consideración de tareas, que, debido a sus características técnicas y cronología en el montaje, deberán ser llevadas a cabo en otras áreas organizativas de la compañía. Estas son las que se encuentran entre la tarea T49 y T54, tareas que corresponden al embalaje del producto, que deberán ser acometidas por áreas relacionadas con la expedición de productos. Con esta decisión se reduce el tiempo necesario en la línea con lo que se simplifica el proceso de equilibrado.

Tabla 5.26. Primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T48	máx (327,538, 4,353)
------------	----------------------

Tabla 5.27. Segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T47	máx (323,185, 8,891)

Tabla 5.28. Tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T46	máx (318,647 , 10,267)

Tabla 5.29. Cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T6	máx (5,277 , 200,108)
T45	máx (317,271 , 11,477)

Tabla 5.30. Quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T44	máx (316,061 , 12,183)

Tabla 5.31. Sexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
---------------------	-------------



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T43	máx (315,355 , 13,374)

Tabla 5.32. Séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T42	máx (314,164 , 14,364)

Tabla 5.33. Octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T41	máx (313,174 , 24,024)

Tabla 5.34. Novena iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T40	máx (303,514 , 31,375)

Con esta última tarea asignada se completa el puesto de trabajo, resultando un tiempo muerto de 0,845 minutos.

Tabla 5.35. Décima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T39	máx (298,163 , 33,860)

Tabla 5.36. Undécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T38	máx (295,678 , 37,987)
------------	--------------------------------

Tabla 5.37. Duodécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T37	máx (291,551 , 43,083)

Tabla 5.38. Decimotercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T36	máx (261,591 , 43,970)

Tabla 5.39. Decimocuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T6	máx (5,277 , 200,108)
T35	máx (260,704 , 47,769)

Tabla 5.40. Decimoquinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T34	máx (256,905 , 52,175)

Tabla 5.41. Decimosexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
---------------------	-------------



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T33	máx (252,199 , 53,037)

Tabla 5.42. Decimoséptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T32	máx (251,337 , 56,736)

Tabla 5.43. Decimoctava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T31	máx (247,638 , 61,351)

Tras la asignación de la tarea T31 se completa el puesto de trabajo, obteniendo un tiempo muerto de 1,944 minutos.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.44. Decimonovena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T30	máx (243,023 , 65,766)

Tabla 5.45. Vigésima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T29	máx (238,408 , 69,811)

Tabla 5.46. Vigésimo primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T28	máx (234,363 , 76,936)
------------	--------------------------------

Tabla 5.47. Vigésimo segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T27	máx (227,238 , 89,256)

La tarea con mayor ponderación es la T5, pero debido a que su duración es mayor al tiempo disponible en el puesto, se sitúa en el puesto de trabajo la tarea T27.

Tras la anterior asignación, no es posible asignar más tareas al puesto de trabajo actual. Su tiempo muerto, tras la asignación de tareas, tiene un valor de 4,315 minutos.

Tabla 5.48. Vigésimo tercera iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T5	máx (47,195 , 227,539)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T26	máx (188,552 , 102,817)

Se deben situar dos puestos de trabajo en paralelo, ya que el tiempo de duración de la tarea con mayor ponderación excede el *Takt time*.

Tabla 5.49. Vigésimo cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T6	máx (5,277 , 200,108)
T26	máx (188,552 , 102,817)

Tabla 5.50. Vigésimo quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T7	máx (8,172 , 194,831)
T26	máx (188,552 , 102,817)

Tabla 5.51. Vigésimo sexta iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T8	máx (14,681 , 191,936)
T26	máx (188,552 , 102,817)

No es posible la asignación al puesto de ninguna de las tareas programables. El tiempo muerto, que en este caso, resulta tras la asignación es de 2,564 minutos.

Tabla 5.52. Vigésimo séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T4	máx (26,366 , 115,922)
T9	máx (18,493 , 185,427)
T26	máx (188,552 , 102,817)

Tabla 5.53. Vigésimo octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T9	máx (21,190 , 185,427)
T25	máx (175 , 106,883)

Tabla 5.54. Vigésimo novena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
----------------------------	--------------------



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T10	máx (19,764 , 181,615)
T25	máx (175 , 106,883)

Tabla 5.55. Trigésima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T11	máx (74,946 , 180,344)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T25	máx (175 , 106,883)
-----	---------------------

Tabla 5.56. Trigésimo primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T12	máx (80,305 , 172,357)
T25	máx (175 , 106,883)

Al no ser asignable la tarea T2, debido a su duración y al tiempo disponible en el puesto, se procede a asignar la tarea T25. El tiempo muerto es de 1,562 minutos.

Tabla 5.57. Trigésimo segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T2	máx (16,650 , 176,878)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T12	máx (83,002 , 172,357)
T24	máx (170,934 , 110,045)

Tabla 5.58. Trigésimo tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T12	máx (80,305 , 172,357)
T24	máx (170,934 , 110,045)

Tabla 5.59. Trigésimo cuarta iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T13	máx (84,473 , 166,998)
T24	máx (170,934 , 110,045)

Tabla 5.60. Trigésimo quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T13	máx (84,473 , 166,998)
T23	máx (167,772 , 115,029)

El tiempo muerto resultante en el puesto de trabajo, tiene un valor de 2,065 minutos.



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.61. Trigésimo sexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T13	máx (84,473 , 166,998)
T22	máx (162,788 , 117,953)

Tabla 5.62. Trigésimo séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T1	máx (12,355 , 164,437)
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T14	máx (87,075 , 162,830)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

T22	máx (162,788 , 117,953)
-----	-------------------------

Tabla 5.63. Trigésimo octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T14	máx (87,075 , 162,830)
T22	máx (162,788 , 117,953)

Tabla 5.64. Trigésimo novena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T15	máx (108,709 , 160,228)
T22	máx (162,788 , 117,953)



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tabla 5.65. Cuadragésima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T15	máx (108,709 , 160,228)
T21	máx (159,864 , 118,619)

Tabla 5.66. Cuadragésimo primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T16	máx (111,871 , 155,244)
T21	máx (159,864 , 118,619)

Tabla 5.67. Cuadragésimo segunda iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T16	máx (111,871 , 155,244)
T20	máx (159,198 , 121,422)

El tiempo muerto obtenido para el caso de este puesto de trabajo es de 1,718 minutos.

Tabla 5.68. Cuadragésimo tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T16	máx (111,871 , 155,244)
T19	máx (156,395 , 125,549)

Tabla 5.69. Cuadragésimo cuarta iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T16	máx (111,871 , 155,244)
T18	máx (152,268 , 147,725)

Tabla 5.70. Cuadragésimo quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T17	máx (128,292 , 152,082)
T18	máx (152,268 , 147,725)

El tiempo muerto resultante es de 2,755 minutos.

Tabla 5.71. Cuadragésimo sexta iteración equilibrado



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)
T17	máx (128,292 , 152,082)

Tabla 5.72. Cuadragésimo séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)
T4	máx (26,366 , 115,922)

La asignación de tareas, provoca la obtención de un tiempo muerto con un valor de 1,788 minutos.

Tabla 5.73. Cuadragésimo octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T3	máx (24,864 , 67,947)

Como en el caso del equilibrado de la caja de cambios, el valor más alto de tiempo muerto se obtiene en el último puesto de trabajo, que, por regla general, será el que más tiempo no asignado posea. En este caso dicho tiempo muerto asciende a 7,356 minutos.

La configuración de los puestos de trabajo y sus tiempos se muestran en la figura 5.9.

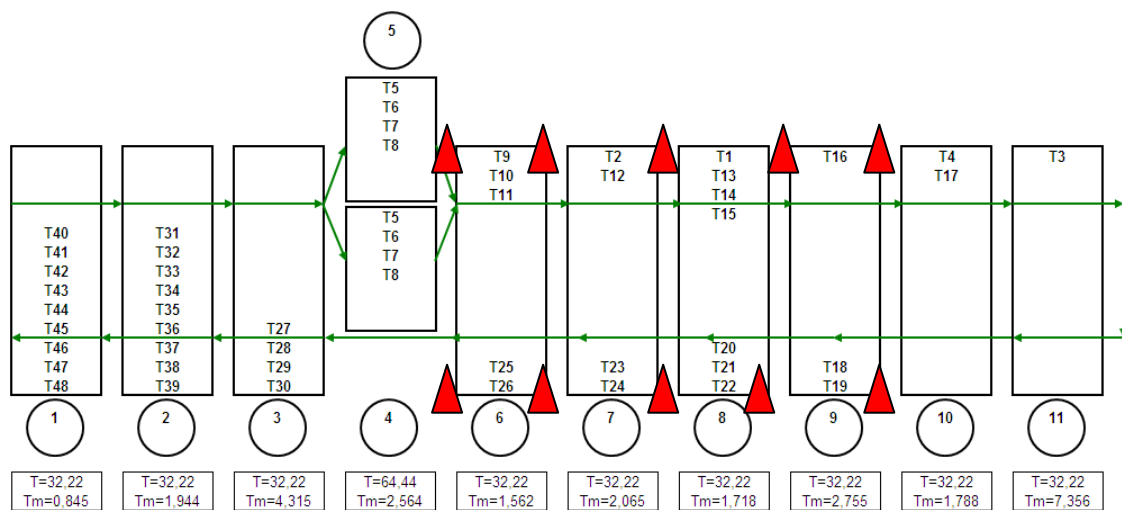


Figura 5.9. Línea de montaje en “U” Crawler

Como ocurría en el caso de la caja de cambios *Prodrive*, la figura 5.6 corresponde a una simple aproximación de la disposición de la línea de montaje monoproducto, y así debe ser considerada, ya que en adelante, una vez seleccionada el diseño y configuración adecuada se profundizará en el diseño de los puestos de trabajo y el *lay-out* final. Lo que si resulta necesario comentar es que, como ocurría en el caso anterior, el proceso se desarrolla en dos flujos superior e inferior. En los puestos de trabajo uno, dos y tres, los operarios encargados únicamente realizarán tareas en el flujo inferior (tareas de la T27 a la T48), mientras que en los puestos diez y once únicamente realizaran tareas en lo que al flujo superior se refiere (tareas T3, T4 y T17).

Los operarios implicados en la realización de las tareas de los puestos de trabajo seis, siete, ocho y nueve, deberán moverse hacia los lados superior (tareas T1, T2 y de la T9 a la T16) e inferior (tareas de la T18 a la T26) de la línea ya que las tareas implicadas en



los puestos así lo requieren. En estos puestos se sitúan *buffers* intermedios, tanto a la entrada como a la salida, consistentes en una unidad de producto, con el fin de evitar paradas en la línea ya que las tareas que en ellos se realizan corresponden tanto al flujo inferior como al superior. Como ocurría en el caso *Prodrive* anterior, sin la existencia de estos *buffers* las paradas en la línea de montaje son seguras.

Mención especial requieren los puestos de trabajo cuatro y cinco, ya que su configuración corresponde a dos puestos de trabajo situados en paralelo, donde se llevarán a cabo las mismas tareas *Crawler*, con el objetivo del cumplimiento del *Takt time*. En este caso se actuará de la misma forma que en el caso de puestos en paralelo de la caja de cambios *Prodrive* (figuras 5.6, 5.7 y 5.8) con la aclaración de que el *buffer* a situar en uno de los puestos es idéntico, en carga de trabajo, al del caso anterior (32,22 minutos). Cabe mencionar que, igual que en el caso anterior, las tareas realizadas en los puestos de trabajo sitos en paralelo corresponden únicamente al flujo superior del proceso.

5.5.3.- Análisis líneas monoproducto

Si se tiene en cuenta la disposición de los puestos de trabajo obtenidos, para los modelos considerados aisladamente, y sus tiempos muertos, se puede ahondar en las conclusiones obtenidas tras el equilibrado.

Considerando en primer lugar la caja de cambios *Prodrive*, el número mínimo de puestos de trabajo es:

$$N^{\circ} \text{ mínimo puestos de trabajo} = \frac{\sum \text{Tiempos tareas elementales}}{\text{Takt time}}$$

$$N^{\circ} \text{ mínimo puestos de trabajo} = \frac{166,145 \text{ min}}{32,22 \text{ min}} = 5,16 \approx 6 \text{ puestos}$$

El grado de desequilibrio obtenido es de:



Capítulo 5. Propuesta de nuevo diseño de línea de montaje

$$D = \frac{N * T_c - \sum_{i=0}^m T_{ei}}{N * T_c} \cdot 100$$

$$D = \frac{6 * 32,22 - 166,145}{6 * 32,22} * 100 = 14,06\%$$

Si se actúa de la misma forma, pero para el caso del equilibrado del *Crawler*, se obtiene:

$$N^{\circ} \text{ mínimo puestos de trabajo} = \frac{327,538 \text{ min}}{32,22 \text{ min}} = 10,16 \approx 11 \text{ puestos}$$

$$D = \frac{11 * 32,22 - 327,538}{11 * 32,22} * 100 = 7,59\%$$

El valor de las expresiones del problema del equilibrado, muestran que, para ambos productos, se obtiene el mínimo número de puestos de trabajo con un grado de desequilibrio aceptable, por lo que su fabricación individual sería factible.

De los resultados obtenidos con anterioridad, resulta especialmente preocupante, para el diseño de la línea de modelo mixto, el número de puestos de trabajo tan dispares obtenidos para cada una de las líneas monoproducto, seis puestos de trabajo para la caja de cambios *Prodrive* y once para el caso del mando final *Crawler*. Resulta necesario, debido a lo comentado con anterioridad, calcular el número de operarios que necesitaría cada una de las líneas consideradas individualmente.

Para el cálculo del número de operarios necesarios en las líneas monoproducto, se utilizará la expresión siguiente:

$$N^{\circ} \text{ operarios} = \frac{N^{\circ} \text{ de piezas a fabricar} \times \text{Tiempo manual neto por pieza}}{\text{Tiempo disponible por persona}}$$



La expresión anterior puede verse simplificada utilizando la ecuación ya conocida del *Takt time*:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible\ por\ persona}{Cantidad\ de\ piezas\ a\ fabricar}$$

$$N^{\circ}\ operarios = \frac{Tiempo\ manual\ neto\ por\ pieza}{Takt\ time}$$

Una vez simplificada, se utiliza la expresión para el cálculo del personal necesario:

$$N^{\circ}\ operarios\ 2\ speed = \frac{166,145}{32,22} = 5,15 \approx 6\ operarios$$

$$N^{\circ}\ operarios\ Crawler = \frac{327,538}{32,22} = 10,16 \approx 11\ operarios$$

La disparidad entre el número de operarios necesarios en cada una de las líneas individuales, imposibilita equilibrar los ciclos que llevan implícitos cada uno de los productos, es decir cada vez que en la línea de montaje a diseñar se produzca un cambio de modelo, resultará necesario o reubicar a los operarios sobrantes, si el cambio es de *Crawler* a *Prodrive*, o aumentar con inmediatez los recursos humanos, si el cambio es inverso. Estas tareas de reequilibrado en el número de operarios cada vez que se produzca el frecuente cambio de modelo son inviables y obliga a la toma de decisiones.

Las decisiones que se pueden tomar, una vez acreditado que la línea como está concebida hasta este momento es inviable, giran en dos sentidos: o bien considerar la posibilidad de “sacar” tareas del proceso *Crawler*, que es el de mayor duración, fuera de la línea, con el fin de tener dos procesos con una duración y carga de trabajo semejantes, o bien replantearse el estudio y comenzar a considerar las líneas multimodelo y



posibilitar la fabricación de los productos por lotes que permita el cambio del número de operarios en cada lote.

5.5.4.- Necesidad del equilibrado conjunto

La fabricación de los productos individualmente, provoca la aparición de despilfarros, en forma de tiempos no productivos, desperdicio de las capacidades de los operarios, pérdidas de información, disposición en planta incorrecta y, principalmente duplicidad de recursos, por lo que el equilibrado conjunto aparece como una necesidad.

Si se considera la fabricación conjunto de ambos productos en una línea de modelo mixto, son principalmente dos los beneficios que se obtienen, por un lado la capacidad de ajustarse con facilidad a las variaciones de la demanda, y la reducción de los equipos, personal y espacio necesarios por otro. La importancia de estos beneficios, unidos a las razones reflejadas en el presente capítulo (apartado 5.2) y a los objetivos del documento (1.2), justifica la decisión de abordar el montaje de los productos según una línea de montaje de modelo mixto.



Capítulo 6.- Diseño de una línea de montaje de modelo mixto para la fabricación de los productos *Prodrive* y *Crawler*

6.0.- Objetivos del capítulo

Como se comentó a la finalización del anterior capítulo, los objetivos planteados al comienzo del proyecto y los beneficios a obtener, han llevado a tomar la decisión de abordar la fabricación de los productos *Prodrive* y *Crawler* en una línea de montaje de modelo mixto.

En el presente capítulo se desarrolla, paso a paso, todo el proceso de diseño de la comentada línea de montaje, con el fin de obtener una línea de montaje de modelo mixto equilibrada, dónde la fabricación de los productos implicados sea factible, basándose en la cultura de fabricación *Lean Manufacturing*.

6.1.- Reestructuración producto *Crawler*

La principal causa que ha llevado a replantearse la utilización de una línea de modelo mixto para la fabricación de los productos implicados, ha sido la fuerte diferencia entre el número de operarios necesarios para el montaje ambos productos. Tras la justificación de que se debe continuar con la idea del ensamblado conjunto según un determinado *mix* de producto, resulta necesario reestructurar las tareas implicadas en la fabricación de los productos con el fin de obtener una carga de trabajo similar.

De las anteriores tablas 5.4 y 5.25, se observa que la duración del conjunto de las tareas *Prodrive* tiene un valor de 166,145 minutos y que, por el contrario, el proceso de montaje del *Crawler* tiene una duración de 327,538 minutos. Con el fin de igualar la carga de trabajo de ambos procesos se toma la decisión de acometer la fabricación de todos los premontajes implicados en la fabricación del *Crawler* fuera de la línea objeto y considerar únicamente las tareas (tabla 5.25) T6 a T48, cuya unión se conoce como montaje final.

Esta decisión se toma debido a que la consideración de los premontajes del proceso *Crawler* (lágrima, tambor, corona, transportador de planetarios y freno) fuera de la línea



objeto permite obtener un proceso con una carga de trabajo similar al proceso *Prodrive*, por lo que, principalmente, el número de operarios necesarios para el montaje de ambos ciclos (corto y largo) será muy parecido y el equilibrado de ambos productos en la línea será viable.

Resulta necesario destacar que el ensamblado fuera de la línea de los premontajes es factible técnicamente, ya que en la actualidad su fabricación se aborda de una manera análoga, debido a que son subconjuntos independientes del producto final. Como se observa en la figura 4.5, que muestra el *lay-out* actual de la línea *Crawler*, los premontajes se ensamblan en puestos de trabajo independientes (extremos de la línea en “H”), salvo en el caso de la corona y tambor que se montan en el mismo puesto, y son transportados, mediante caminos de rodillos, hacia el montaje final en el momento que, según restricciones de secuencia, son necesarios.

Con la decisión justificada anteriormente, se consigue acortar el proceso de montaje del *Crawler* hasta los 200,108 minutos y conseguir igualar las cargas de trabajo de ambos procesos. Respecto a los premontajes, serán considerados como aprovisionamientos, su conexión con la línea principal, como se verá en temas posteriores, se realizará mediante un sistema *Kanban* y su montaje se abordará desde células independientes, aledañas a la línea, análogas a los puestos de trabajo existentes en la actualidad

Por todo lo anterior, el nuevo cálculo del personal implicado en la línea principal resulta:

$$N^{\circ} \text{ operarios } 2 \text{ speed} = \frac{166,145}{32,22} = 5,15 \approx 6 \text{ operarios}$$

$$N^{\circ} \text{ operarios } Crawler = \frac{200,108}{32,22} = 6,21 \approx 7 \text{ operarios}$$

Los resultados obtenidos en el número de operarios, inferior a seis en el caso *Prodrive* y ligeramente superior para el *Crawler*, implica que se puede tomar la decisión de realizar



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

el montaje con seis o siete operarios. En este caso se toma la decisión de afrontar la fabricación con siete operarios ya que el tiempo en exceso, tanto en el ciclo corto como en el largo, se empleará en actividades necesarias como la resolución de problemas, el soporte a otros puestos o la implantación de programas *TPM* o *5S*'s

La decisión tomada de acometer el ensamblado de los premontajes *Crawler* fuera de la línea objetivo, provoca que resulte necesario volver a equilibrar la línea monoproducto sin considerar las tareas T1 a T5 (tabla 5.25), y, con posterioridad, realizar un estudio de las células dónde los premontajes serán ensamblados, aunque esto se realizará en temas posteriores, concretamente en el estudio referente a los aprovisionamientos.

Siguiendo la misma lógica y secuencia de operaciones empleada en el punto 5.5.2:

Tabla 6.1. Tareas, tiempos y restricciones montaje *Crawler*

Tarea	Descripción	Predecesoras inmediatas	Duración (min Std.)
T6	Tarea 1 montaje final	-	5,277
T7	Tarea 2 montaje final	T6	2,895
T8	Tarea 3 montaje final	T7	6,509
T9	Tarea 4 montaje final	T8	3,812
T10	Tarea 5 montaje final	T9	1,271
T11	Tarea 6 montaje final	T5, T10	7,987
T12	Tarea 7 montaje final	T11	5,359
T13	Tarea 8 montaje final	T12	4,168
T14	Tarea 9 montaje final	T13	2,602
T15	Tarea 10 montaje final	T2, T14	4,984
T16	Tarea 11 montaje final	T15	3,162
T17	Tarea 12 montaje final	T1, T16	4,066
T18	Tarea 13 montaje final	T17	22,176
T19	Tarea 14 montaje final	T18	4,127
T20	Tarea 15 montaje final	T19	2,803
T21	Tarea 16 montaje final	T20	0,666
T22	Tarea 17 montaje final	T21	2,924
T23	Tarea 18 montaje final	T22	4,984
T24	Tarea 19 montaje final	T23	3,162
T25	Tarea 20 montaje final	T24	4,066



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

T26	Tarea 21 montaje final	T25	13,552
T27	Tarea 22 montaje final	T4, T26	12,320
T28	Tarea 23 montaje final	T27	7,125
T29	Tarea 24 montaje final	T28	4,045
T30	Tarea 25 montaje final	T29	4,415
T31	Tarea 26 montaje final	T30	4,615
T32	Tarea 27 montaje final	T31	3,699
T33	Tarea 28 montaje final	T32	0,862
T34	Tarea 29 montaje final	T33	4,706
T35	Tarea 30 montaje final	T34	3,799
T36	Tarea 31 montaje final	T35	0,887
T37	Tarea 32 montaje final	T3, T36	5,096
T38	Tarea 33 montaje final	T37	4,127
T39	Tarea 34 montaje final	T38	2,485
T40	Tarea 35 montaje final	T39	7,351
T41	Tarea 36 montaje final	T40	9,660
T42	Tarea 37 montaje final	T41	0,990
T43	Tarea 38 montaje final	T42	1,191
T44	Tarea 39 montaje final	T43	0,706
T45	Tarea 40 montaje final	T44	1,210
T46	Tarea 41 montaje final	T45	1,376
T47	Tarea 42 montaje final	T46	4,538
T48	Tarea 43 montaje final	T47	4,353

Tabla 6.2. Primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T6	máx (5,277 , 200,108)
T48	máx (200,108 , 4,353)

Tabla 6.3. Segunda iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T7	máx (8,172 , 194,831)
T48	máx (200,108 , 4,353)

Tabla 6.4. Tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T7	máx (8,172 , 194,831)
T47	máx (195,755 , 8,891)

Tabla 6.5. Cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T7	máx (8,172 , 194,831)
T46	máx (191,217 , 10,267)

Tabla 6.6. Quinta iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T8	máx (14,681 , 191,936)
T46	máx (191,217 , 10,267)

Tabla 6.7. Sexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T46	máx (191,217 , 10,267)

Tabla 6.8. Séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T45	máx (189,841 , 11,477)

Tabla 6.9. Octava iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T44	máx (188,631 , 12,183)

Tabla 6.10. Novena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T43	máx (187,925 , 13,374)

Tabla 6.11. Décima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T42	máx (186,734 , 14,364)

Debido a que el tiempo de las siguientes tareas programables es superior al tiempo restante en el puesto, queda configurado el primer puesto de trabajo, cuyo tiempo muerto asciende a 3,175 minutos.



Tabla 6.12. Undécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T9	máx (18,493 , 185,427)
T41	máx (182,744 , 24,024)

Tabla 6.13. Duodécima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T10	máx (19,764 , 181,615)
T41	máx (182,744 , 24,024)

Tabla 6.14. Decimotercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T10	máx (19,764 , 181,615)
T40	máx (173,084 , 31,375)

Tabla 6.15. Decimocuarta iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T11	máx (27,751 , 180,344)
T40	máx (173,084 , 31,375)

Tabla 6.16. Decimoquinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T12	máx (33,110 , 172,357)
T40	máx (173,084 , 31,375)

Con la tarea T40 el puesto de trabajo queda completo, con un tiempo muerto total de 2,139 minutos.

Tabla 6.17. Decimosexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T12	máx (33,110 , 172,357)
T39	máx (165,733 , 33,860)

Tabla 6.18. Decimoséptima iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T13	máx (37,278 , 166,998)
T39	máx (165,733 , 33,860)

Tabla 6.19. Decimoctava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T14	máx (39,880 , 162,830)
T39	máx (165,733 , 33,860)

Tabla 6.20. Decimonovena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T14	máx (39,880 , 162,830)
T38	máx (163,248 , 37,987)

Tabla 6.21. Vigésima iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T14	máx (39,880 , 162,830)
T37	máx (159,121, 43,083)

Tabla 6.22. Vigésimo primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T15	máx (44,864 , 160,228)
T37	máx (159,121, 43,083)

Tabla 6.23. Vigésimo segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T16	máx (48,026 , 155,244)
T37	máx (159,121 , 43,083)

Tabla 6.24. Vigésimo tercera iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T16	máx (48,026 , 155,244)
T36	máx (154,025, 43,970)

El nuevo puesto de trabajo queda configurado. Su tiempo muerto tiene un valor de 0,237 minutos.

Tabla 6.25. Vigésimo cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T17	máx (52,092 , 152,082)
T36	máx (154,025 , 43,970)

Tabla 6.26. Vigésimo quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T17	máx (52,092 , 152,082)
T35	máx (153,138 , 47,769)

Tabla 6.27. Vigésimo sexta iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T17	máx (52,092 , 152,082)
T34	máx (149,339, 52,475)

Tabla 6.28. Vigésimo séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T34	máx (149,339 , 52,475)

Tabla 6.29. Vigésimo octava iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T33	máx (144,633 , 53,337)

Como en ocasiones anteriores, según el criterio fijado, la siguiente tarea a programar sería la T18, pero debido a su duración, se programa la T33.

Tabla 6.30. Vigésimo novena iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T32	máx (143,771 , 57,036)

Tabla 6.31. Trigésima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T31	máx (140,072 , 61,651)

Tabla 6.32. Trigésimo primera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T30	máx (135,457 , 66,066)

Tabla 6.33. Trigésimo segunda iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T29	máx (131,042 , 70,111)

Con la anterior asignación queda configurado el puesto de trabajo con un tiempo muerto igual a 1,126 minutos.

Tabla 6.34. Trigésimo tercera iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T18	máx (74,268 , 148,016)
T28	máx (126,997, 77,236)

Tabla 6.35. Trigésimo cuarta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T19	máx (78,395 , 125,984)
T28	máx (126,997 , 77,236)

El quinta puesto de trabajo queda establecido. Su tiempo muerto tiene un valor de 2,919 minutos.



Tabla 6.36. Trigésimo quinta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T19	máx (78,395 , 125,984)
T27	máx (119,872, 89,556)

Tabla 6.37. Trigésimo sexta iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T20	máx (81,198 , 121,857)
T27	máx (119,872, 89,556)

Tabla 6.38. Trigésimo séptima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T21	máx (81,864 , 119,054)
T27	máx (119,872 , 89,556)

Tabla 6.39. Trigésimo octava iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T21	máx (81,864 , 119,054)
T26	máx (107,552, 103,108)

Tabla 6.40. Trigésimo novena iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T22	máx (84,788 , 118,388)
T26	máx (107,552, 103,108)

Tabla 6.41. Cuadragésima iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T23	máx (89,772 , 115,464)
T26	máx (107,552, 103,108)

Tabla 6.42. Cuadragésimo primera iteración equilibrado



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Tareas programables	Ponderación
T24	máx (92,934 , 110,480)
T26	máx (107,552, 103,108)

Puesto de trabajo completo con un tiempo muerto que asciende a 1,234 minutos.

Tabla 6.43. Cuadragésimo segunda iteración equilibrado

Tareas programables	Ponderación
T25	máx (97,000 , 107,318)
T26	máx (107,552 , 103,108)

El último puesto únicamente tiene asignado dos tareas y su tiempo muerto es de 14,602 minutos.

La configuración final de la línea monoproducto *Crawler* se muestra en la figura 6.1, junto a otros datos, como el tiempo muerto de cada uno de los puestos de trabajo.



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

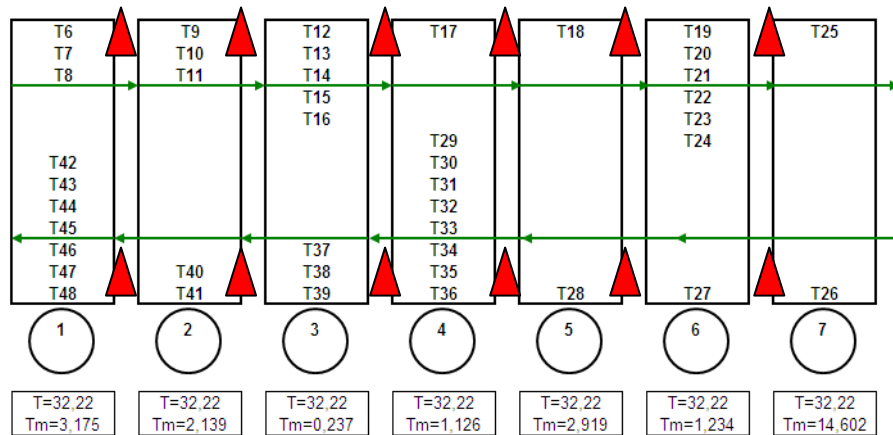


Figura 6.1.- Línea de montaje en "U" Crawler

La figura representa los siete puestos de trabajo que forman la línea monoproducto *Crawler* reestructurada. Las flechas verdes indican el flujo del producto. Como se puede observar existen dos flujos: superior o inferior. Cada uno de los siete operarios definidos (apartado 6.1) estará encargado de un único puesto de trabajo y deberá desplazarse entre flujos según indique su hoja estándar de operación. Los triángulos rojos, como en casos anteriores, representan *buffers* necesarios para evitar paradas en la línea de producción y se han colocado las entradas y salidas de cada uno de los puestos de trabajo, tanto en el ciclo inferior como en el superior. Estos *buffers* consistirán en una unidad de producto.

Como aclaración se adjunta la tabla 6.44, donde se reflejan las tareas que debe realizar cada operario en los diferentes flujos (superior e inferior) por orden de secuencia

Tabla 6.44. Tareas por orden de secuencia *Crawler* reestructurado

Operario	Tareas	Flujo
1	T6, T7, T8	Superior
2	T9, T10, T11	Superior
3	T12, T13, T14, T15, T16	Superior
4	T17	Superior
5	T18	Superior
6	T19, T20, T21, T22, T23, T24	Superior



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

7	T25	Superior
7	T26	Inferior
6	T27	Inferior
5	T28	Inferior
4	T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35, T36	Inferior
3	T37, T38, T39	Inferior
2	T40, T41	Inferior
1	T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48	Inferior

6.2.- Equilibrado conjunto

Para el equilibrado de la línea mixta, se toma la decisión de obtener una solución factible a partir de las líneas monoproducto equilibradas con anterioridad.

La línea de montaje a diseñar, parte con un *handicap* respecto a las posibilidades reales. Normalmente una de las razones que motiva la implantación de líneas de modelo mixto, consiste en que los productos implicados comparten un número importante de tareas en su proceso de fabricación. En el presente caso esto no es así, debido a que en realidad no existen tareas idénticas en uno y otro producto, y aunque existieran no podrían tenerse en cuenta debido a que las tareas elementales de la *Prodrive* aún no han sido definidas.

El párrafo anterior puede llevar a preguntarse: ¿es lógico desarrollar dos productos que *a priori* no tienen ninguna tarea en común? La respuesta es sí. La explicación está basada en que, junto a lo comentado en el punto anterior (5.5.4), el proceso, la tecnología y conocimientos necesarios para su fabricación son prácticamente idénticos. Ambos procesos son montajes, la maquinaria principal que utilizan son prensas, las herramientas necesarias (llaves dinamométricas, pistolas neumáticas, polipastos, herramientas de mano) son comunes, salvo en el caso de útiles especiales, y en un alto porcentaje poseen los mismos componentes (ejes, rodamientos y otros elementos cuya misión es la transmisión del movimiento).

El método seleccionado para el equilibrado conjunto no consiste en un proceso iterativo marcado por un heurístico determinado, sino que consistirá en la redistribución de los puestos de trabajo monoproducto.



Es necesario destacar que el proceso productivo a diseñar posee dos ciclos: el ciclo corto, que corresponderá al proceso con menos carga temporal, la *Prodrive*, y el ciclo largo, proceso de mayor duración, que se corresponde con el *Crawler*.

El equilibrado conjunto consiste en unir en un único puesto de trabajo, capaz de abordar el montaje de los dos ciclos del proceso, los puestos *Prodrive* (figura 5.5) y *Crawler* (figura 6.1) calculados aisladamente. Los fundamentos que se utilizan para la unión de los puestos de trabajo de los ciclos corto y largo son:

- En la medida de lo posible el mismo operario debe realizar la primera y última tarea de la línea de montaje. Este es un objetivo *Lean* a alcanzar que mejorará la visibilidad, comprensión y calidad del producto.
- Han de respetarse las restricciones de secuencia establecidas para ambos ciclos.
- Han de unirse puestos que utilicen la misma maquinaria pesada, con el objetivo de reducir el coste de las instalaciones e impedir la duplicidad de equipos.
- Han de unirse puestos cuyas tareas sean parecidas, con el objetivo de aprovechar sinergias y favorecer la implantación de mejoras.
- Han de unirse puestos que utilicen equipos, herramientas y dispositivos iguales, con el fin de evitar despilfarros.
- Se ha de intentar unir puestos de trabajo para optimizar tiempos de proceso.

Por lo comentado anteriormente se toman las siguientes decisiones, en lo que a la redistribución de puestos respecta:

- La distribución en planta del ciclo largo coincidirá, a grandes rasgos con la calculada (figura 6.1) aisladamente para el *Crawler*, con el objetivo de respetar las restricciones de secuencia y asegurar que la línea diseñada posee exactamente siete puestos de trabajo.
- Las tareas correspondientes a los puesto de trabajo *Prodrive* 1 (figura 5.5) y *Crawler* 1 (figura 6.1), se realizarán en el mismo puesto de trabajo, con el fin de



que sean realizados por el mismo operario, cumpliendo con el objetivo *Lean* anteriormente fijado.

- Las tareas que forman parte de los puestos de trabajo *Prodrive* 2 (figura 5.5) y *Crawler* 2 (figura 6.1), se llevarán a cabo en el mismo puesto de trabajo con el objetivo del aprovechamiento de sinergias y el aprovechamiento de los equipos comunes (polipasto).
- Las tareas englobadas en los puestos *Prodrive* 3 (figura 5.5) y *Crawler* 3 (figura 6.1), por un lado, y las tareas correspondientes a los puestos *Prodrive* 4 y *Crawler* 4, se realizarán en los mismos puestos de trabajo, debido a las mismas razones que el caso anterior. Resulta necesario recordar que los puestos de trabajo 3 y 4 del proceso *Prodrive* correspondían a puestos de trabajo en paralelo.
- El mismo razonamiento anterior se utiliza para explicar la decisión de realizar las tareas que se engloban en los puestos *Prodrive* 5 y 6 en los mismos puestos de trabajo que *Crawler* 5 y 6, respectivamente.
- En el último puesto de trabajo, el operario encargado, únicamente realizará funciones de montaje propiamente dichas en el ciclo largo (*Crawler*). Durante el ciclo corto será el responsable de programas 5S's y TPM y de la prestación de soporte y ayuda al resto de la línea.

La figura 6.2 representa una aproximación inicial a la línea de montaje de modelo mixto objetivo, debido a que aún no se han tenido en cuenta, con rigurosidad, otros condicionantes, los cuales serán tratados en capítulos posteriores, concretamente en el diseño del *lay-out*.

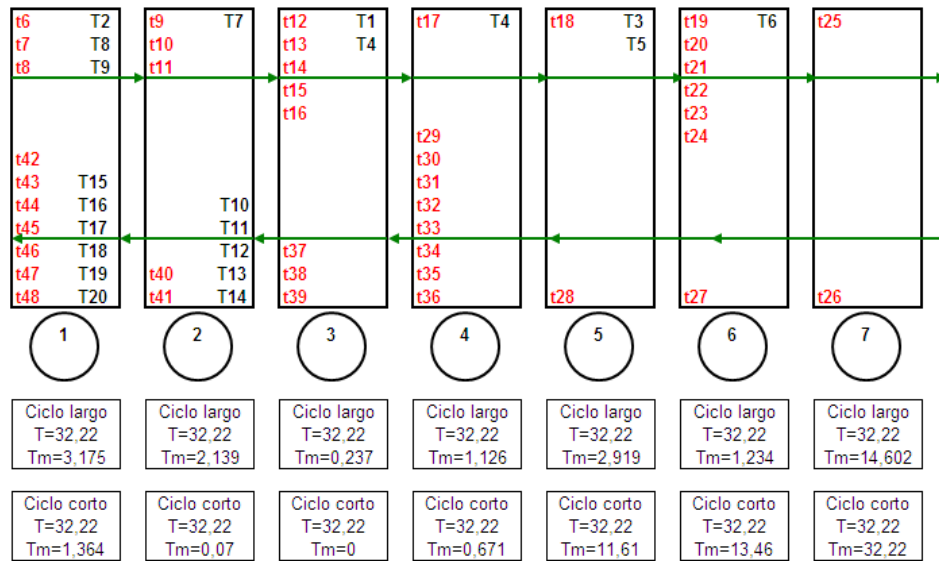


Figura 6.2. Línea de montaje conjunta de modelo mixto en “U”

En la representación de la línea que aparece en la figura 6.2, se ha utilizado un código de colores que deberá extrapolarse a la línea física, ya que, enlazando con el control visual (punto 3.13.1), resulta necesario identificar cada producto que pasa por la línea para evitar la confusión entre productos diferentes. En este caso, como se puede observar en la figura anterior, se ha optado por representar las tareas correspondientes al montaje *Prodrive* con el color negro y la “T” inicial del nombre de la tarea en mayúscula, y utilizar el color rojo, con la “T” inicial del nombre de la tarea, esta vez, en minúscula para representar las tareas del *Crawler*.

De la misma forma que en ocasiones anteriores, también aparece, en la figura 6.2, el valor de los tiempos muertos, medidos en minutos estándar, para cada uno de los puestos de trabajo, diferenciando, esta vez, cada uno de los ciclos. Si se observan los diferentes valores de los diferentes tiempos muertos, se pueden encontrar valores pequeños, como por ejemplo el puesto de trabajo tres para ambos ciclos, que denotan un buen equilibrio, o, por el contrario, valores altos, como por ejemplo los calculados para el puesto de trabajo siete. Estos valores elevados no son preocupantes, ya que, como se ha comentado en varias ocasiones, serán empleados en soporte, reparaciones y en la implantación y mantenimiento de programas *TPM* y *5S*’s.



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Como corresponde a la línea de montaje en “U” el proceso se desarrolla en dos flujos, superior e inferior, representados por las flechas verdes. Los operarios deberán desplazarse del flujo superior al inferior, según fije la correspondiente ruta estándar de operaciones, por lo que es necesario diferenciar entre las tareas de ida del producto (ciclo superior) y las de vuelta (ciclo inferior). Esta diferenciación aparece en las tablas 6.45 y 6.46

Tabla 6.45 Tareas por orden de secuencia línea conjunta. Ciclo corto

Operario	Tareas	Flujo
1	T2, T8, T9	Superior
2	T7	Superior
3	T1, T4	Superior
4	T4'	Superior
5	T3, T5	Superior
6	T6	Superior
7	Soporte	Superior
7	Soporte	Inferior
6	-	Inferior
5	-	Inferior
4	-	Inferior
3	-	Inferior
2	T10, T11, T12, T13, T14	Inferior
1	T15, T16, T17, T18, T19, T20	Inferior

Tabla 6.46 Tareas por orden de secuencia línea conjunta. Ciclo largo

Operario	Tareas	Flujo
1	T6, T7, T8	Superior
2	T9, T10, T11	Superior
3	T12, T13, T14, T15, T16	Superior
4	T17	Superior
5	T18	Superior
6	T19, T20, T21, T22, T23, T24	Superior
7	T25	Superior
7	T26	Inferior
6	T27	Inferior
5	T28	Inferior
4	T29, T30, T31, T32, T3, T34, T35, T36	Inferior
3	T37, T38, T39	Inferior



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

2	T40, T41	Inferior
1	T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48	Inferior

A parte de lo ya comentado, la principal aclaración que hay que realizar respecto a la figura 6.2, radica en la forma en la que se va a acometer el montaje de las tareas T1 y T4 *Prodrive*. En el montaje monoproducto (figura 5.5) se decidió situar dos puestos de trabajo en paralelo, sin embargo, debido a la configuración en forma de “U” de la línea conjunta y a la unión de los puestos, si se sitúan dos puestos de trabajo en paralelo durante el ciclo largo, se complica el montaje del *Crawler*. Por ese motivo los puestos de trabajo se sitúan en serie, y en lo que respecta a las tareas T1 y T4 del ciclo corto (*Prodrive*), se toma la decisión de dividir la tarea T4 en dos. Esta división, respetando las restricciones de secuencia (Anexo IV), es posible debido a que la operación T4, que corresponde al montaje del eje de entrada de la *Prodrive* (tabla 5.3), no está aún dividida en sus correspondientes tareas elementales. El resultado se resume en que en el puesto de trabajo tres, durante el ciclo corto, se realizarán las tareas T1 íntegramente, y la tarea T4 hasta que las tareas realizadas en el montaje del eje de entrada supongan una carga de trabajo de 8,272 minutos, que corresponde a la disponibilidad en el puesto (diferencia entre el tiempo de operación de la tarea T1 y el *Takt time*). El resto de la tarea T4 se realizará en el puesto siguiente, puesto de trabajo número cuatro. Se podrá ahondar en esta decisión en el momento en que se dispongan de las tareas elementales, y de sus respectivos tiempos, de la caja de cambios *Prodrive*.

Tras lo comentado con anterioridad es necesario explicar cual es el funcionamiento de la línea. El proceso comenzará en el puesto de trabajo número uno que, en función del producto a fabricar, *Prodrive* o *Crawler*, fijado, como se verá a continuación, por la secuenciación de modelos (apartado 6.3), realizará las tareas que indica su ruta estándar de operaciones (apartado 6.5) para el producto correspondiente. Tras la finalización de dichas tareas, el producto será transportado al puesto de trabajo siguiente, dos en este caso, para continuar con el proceso, mientras que el operario número uno se desplazará para realizar las tareas del flujo inferior, según, nuevamente, su ruta estándar de operaciones, que se calculará con posterioridad. El siguiente producto a montar en la línea vendrá establecido, de la misma forma, por la secuenciación de modelos. Si el nuevo producto corresponde al mismo producto fabricado con anterioridad, el operario



número uno actuará de la misma forma, y si, por el contrario, se produce un cambio de modelo, todas las tareas a realizar variarán y vendrán fijadas por la ya mencionada ruta estándar de operaciones (apartado 6.5). Esta forma de actuar en el puesto de trabajo número uno durante el proceso productivo es extrapolable al resto de puestos existentes en la línea.

Como última aclaración se apunta que un cambio en el modelo a fabricar implicará la realización de tareas distintas en cada uno de los puestos, ya que, como se ha comentado anteriormente, los productos implicados no coinciden en ninguna de sus tareas. De la misma forma, el cambio de un producto a otro no implicará incurrir en ningún tiempo de cambio o preparación, para adaptar los diferentes puestos de trabajo al producto entrante, debido a las semejanzas entre ambos productos y sus procesos y a que la mayor parte de las operaciones son manuales y las únicas máquinas implicadas son prensas que están estandarizadas y son comunes a ambos montajes

6.3.- Secuenciación de modelos

Como se comentó durante la exposición del punto 3.7, el principal problema de las líneas de modelo mixto consiste en intentar mantener una tasa de producción nivelada tan estable como sea posible durante un periodo determinado de tiempo.

Dos son los métodos, *Chasing the goal* y *Time spread* (punto 3.7.3.2), con los que el enfoque *Lean* cuenta para la resolución del citado problema. El primero de ellos se encuentra enfocado a la transmisión de la regularidad alcanzada al consumo de componentes y, por consiguiente, a la regulación de la producción de los componentes por parte de los proveedores. Este enfoque, aunque viable, necesitaría de un estudio en profundidad de todas las referencias utilizadas en los procesos de montaje vistos.

Debido a la mayor sencillez de los datos de partida, se realizará la secuenciación del modelo basándose en el segundo método: *Time Spread*. Este modelo intenta establecer un lote mixto de producción en función de la demanda prevista, intentando mantener dicho lote en la misma frecuencia durante el período planificado. Este método superpone la necesidad de absorber las pequeñas variaciones que pueda sufrir la



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

demanda con un inventario final a introducir variaciones constantes en la línea que pudieran verse amplificadas aguas arriba de la cadena de suministros.

El método *Time Spread* es un proceso iterativo basado en la siguiente fórmula:

$$D_{ik} = \text{Min} \sum_{i=1}^a \left(\frac{K * Q_i}{Q} - X_{i,k} \right)^2$$

K = nº de iteración (una iteración para cada artículo asignado a la secuencia)

Q_i = cantidad a fabricar del modelo i por ciclo

$$Q = \sum Q_i$$

$X_{i,k}$ = cantidad total de artículo i ya secuenciado desde el primero al k -ésimo

Los datos necesarios se reflejan en la tabla 6.47. Se menciona que durante el proceso de secuenciación, se utilizará el subíndice “p” para cálculos relacionados con la caja de cambios *Prodrive* y el subíndice “c” para los correspondientes al mando final *Crawler*.

Tabla 6.47. Datos método *Time Spread*

Tiempo diario efectivo	870 minutos	
Modelo	Volumen producción (und/día)	Duración ciclo (min/und)
<i>Prodrive</i>	19	$870/19 = 45,79$
<i>Crawler</i>	8	$870/8 = 108,75$
Total	27	$870/27 = 32,22$

Con los datos anteriores se calcula la proporción de cantidades de cada modelo a fabricar por ciclo:

$$Q_p = \frac{\text{Volumen } p}{\text{Volumen total}} = \frac{19}{27} \approx 0,7$$



$$Qp = \frac{\text{Volumen } c}{\text{Volumen total}} = \frac{8}{27} \approx 0,3$$

Tras el cálculo de los datos necesarios comienza el proceso iterativo, teniendo en cuenta que se incorporará al *mix*, aquel producto con menor valor en la correspondiente iteración.

- Primera iteración $K = 1$

$$D_{ik} = \text{Min} \sum_{i=1}^a \left(\frac{K * Q_i}{Q} - X_{i,k} \right)^2$$

$$D_{1p} = \left(\frac{1 * 0,7}{1} - 1 \right)^2 + \left(\frac{1 * 0,3}{1} - 0 \right)^2 = 0,18$$

$$D_{1c} = \left(\frac{1 * 0,7}{1} - 0 \right)^2 + \left(\frac{1 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 0,98$$

- Segunda iteración $K = 2$

$$D_{2p} = \left(\frac{2 * 0,7}{1} - 2 \right)^2 + \left(\frac{2 * 0,3}{1} - 0 \right)^2 = 0,72$$

$$D_{2c} = \left(\frac{2 * 0,7}{1} - 1 \right)^2 + \left(\frac{2 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 0,32$$

- Tercera iteración $K = 3$



$$D_{3p} = \left(\frac{3 * 0,7}{1} - 2 \right)^2 + \left(\frac{3 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 0,02$$

$$D_{3c} = \left(\frac{3 * 0,7}{1} - 1 \right)^2 + \left(\frac{3 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 2,42$$

➤ Cuarta iteración K = 4

$$D_{4p} = \left(\frac{4 * 0,7}{1} - 3 \right)^2 + \left(\frac{4 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 0,08$$

$$D_{4c} = \left(\frac{4 * 0,7}{1} - 2 \right)^2 + \left(\frac{4 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 1,28$$

➤ Quinta iteración K = 5

$$D_{5p} = \left(\frac{5 * 0,7}{1} - 4 \right)^2 + \left(\frac{5 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 0,5$$

$$D_{5c} = \left(\frac{5 * 0,7}{1} - 3 \right)^2 + \left(\frac{5 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 0,5$$

Al ser iguales las dos ponderaciones calculadas para ambos productos, la selección se realiza arbitrariamente. En este caso se selecciona, para ser el siguiente producto a secuenciar, la caja de cambios *Prodrive*, ya que su proporción dentro del total es mayor.

➤ Sexta iteración K = 6



$$D_{6p} = \left(\frac{6 * 0,7}{1} - 5 \right)^2 + \left(\frac{6 * 0,3}{1} - 1 \right)^2 = 1,28$$

$$D_{6c} = \left(\frac{6 * 0,7}{1} - 4 \right)^2 + \left(\frac{6 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 0,08$$

➤ Séptima iteración K = 7

$$D_{7p} = \left(\frac{7 * 0,7}{1} - 5 \right)^2 + \left(\frac{7 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 0,02$$

$$D_{7c} = \left(\frac{7 * 0,7}{1} - 4 \right)^2 + \left(\frac{7 * 0,3}{1} - 3 \right)^2 = 1,62$$

➤ Octava iteración K = 8

$$D_{8p} = \left(\frac{8 * 0,7}{1} - 6 \right)^2 + \left(\frac{8 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 0,32$$

$$D_{8c} = \left(\frac{8 * 0,7}{1} - 5 \right)^2 + \left(\frac{8 * 0,3}{1} - 3 \right)^2 = 0,72$$

➤ Novena iteración K = 9

$$D_{9p} = \left(\frac{9 * 0,7}{1} - 7 \right)^2 + \left(\frac{9 * 0,3}{1} - 2 \right)^2 = 0,98$$

$$D_{9c} = \left(\frac{9 * 0,7}{1} - 6 \right)^2 + \left(\frac{9 * 0,3}{1} - 3 \right)^2 = 0,18$$

Con la novena iteración se finaliza el proceso iterativo de secuenciación, debido a que ya se dispone de un *mix* reflejo del nivel de demanda de cada modelo. Este *mix*, que se representa a continuación, marcará la secuencia de producción de cada modelo en la línea.

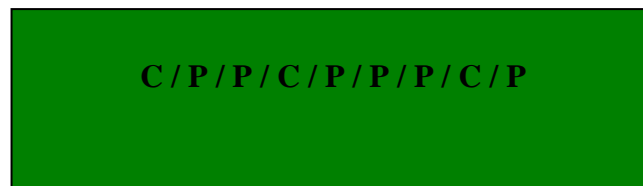


Figura 6.3. *Mix* de productos

6.4.- Cálculo del número de operarios

Resulta necesario realizar un estudio sobre el personal necesario, en la línea de montaje, para abordar la producción de los productos que forman el *mix*, asegurando el cumplimiento de la demanda establecida.

Previo al cálculo siguiente, es conveniente refrescar lo ya comentado en el apartado 5.5. El tiempo manual neto por pieza que resulta del montaje de cada uno de los modelos implicados, es igual al tiempo neto total, ya que en las tareas realizadas con maquinaria resulta necesaria la participación humana durante todo el desarrollo de las mismas.

Como ya es conocido (apartado 5.5), para el cálculo del número de operarios necesarios en la línea de montaje, se utilizará la expresión siguiente:

$$N^{\circ} \text{ operarios} = \frac{\text{Tiempo manual neto por pieza}}{\text{Takt time}}$$

El cálculo del personal necesario en la línea de montaje resulta ser:



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

$$N^{\circ} \text{ operarios } 2 \text{ speed} = \frac{166,145}{32,22} = 5,15 \approx 6 \text{ operarios}$$

$$N^{\circ} \text{ operarios } Crawler = \frac{200,108}{32,22} = 6,21 \approx 7 \text{ operarios}$$

Según el cálculo anterior, se puede afirmar que para afrontar el montaje de los productos implicados, con el principal objetivo del cumplimiento de la demanda prevista, resultará necesario el trabajo de siete operarios en la línea.

El principal problema que se desprende de los resultados anteriores, radica en la diferencia entre el número de operarios necesarios para el montaje de la *Prodrive* (ciclo corto) y del *Crawler* (ciclo largo). Este desequilibrio existente, se resuelve, como ya se ha comentado (apartado 5.5) asignando al operario en exceso durante el ciclo corto, tareas de mantenimiento, como las vistas en el apartado correspondiente al TPM, (punto 3.10), actividades relacionadas con 5S's, (apartado 3.4) o actividades de ayuda y preparación a los ciclos largos. Otras de las tareas que pueden realizar el operario "libre", durante el desarrollo del ciclo corto, consiste en la reparación y posterior devolución a la línea de aquellos productos en los que se han detectado algún tipo de error y se encuentra en la zona de reproceso.

Lo comentado en los párrafos anteriores puede ser extendible al tiempo muerto que poseen los diferentes operarios en ambos ciclos, es decir el tiempo muerto existente en los puestos de trabajo, puede ser aprovechado en programas y tareas de apoyo como los anteriormente mencionados.

6.5.- Secuencia de trabajo. Ruta estándar de operaciones

Tras el cálculo del número de operarios, resulta necesario determinar la forma en que, dichos operarios, van actuar durante el período de tiempo en el que se mantenga el nivel de producción previsto.



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Esta determinación de la forma de actuación del personal, como ya se comentó en el apartado 3.6, es uno de los elementos clave del proceso de estandarización, y un ejemplo se encuentra gráficamente representado en la figura 6.4.

La asignación de tareas en la ruta estándar de operaciones, unido a lo ya descrito en el punto 3.6.2.2, debe permitir a cada trabajador llevar a cabo las operaciones que le hayan sido asignadas dentro del plazo que marca el *Takt time*.

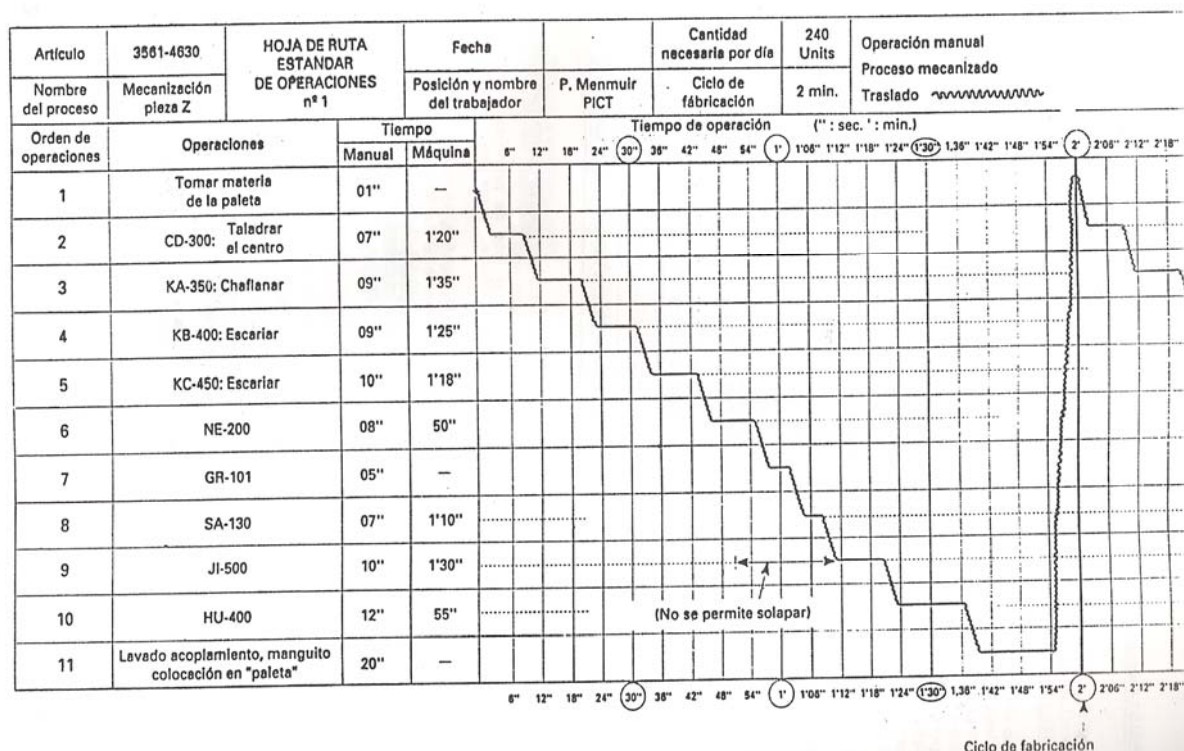


Figura 6.4. Ejemplo ruta estándar de operación

La figura 6.4 representa un ejemplo de ruta estándar de operaciones de un determinado proceso. Se puede apreciar que en la parte izquierda se sitúa la información respecto al proceso, consistente en: número y orden de las operaciones que forman el proceso, e identificación de dichas operaciones, ya sea mediante texto, como la operación número uno, tomar materia de la paleta, mediante una determinada notación, como es el caso de



la sexta operación, NE-200, o mediante una mezcla de ambos, como ocurre en la segunda operación, CD-300: taladrar el centro.

Tras la numeración, orden y descripción de las operaciones, la siguiente información que aparece en la ruta estándar, es la que a tiempos se refiere. Se realiza una diferenciación entre tiempo manual y máquina, debido a que es necesario sincronizar el trabajo del operario y de la maquinaria. En este sentido vuelve a cobrar importancia la diferenciación entre tareas externas e internas (apartado 3.5), ya que, como se aprecia en la figura 6.4, el comienzo del proceso, operación uno para el operario, implica, de la misma forma, el comienzo de las tareas externas ocho, nueve y diez, en lo que al tiempo máquina se refiere. Con esto se consigue una reducción del *Takt time*.

Respecto a lo que a la gráfica propiamente dicha se refiere, comienza en la operación uno, cuyo tiempo manual asciende a 1". Esta operación se representa mediante una línea horizontal de longitud 1", según la escala de tiempos representada en las zonas superior e inferior de la hoja. Por definición, en el ejemplo, en el traslado de una operación a otra, el operario invierte 2". Esto se representa gráficamente mediante línea oblicua, de una a otra operación, y cuyo valor en la escala de tiempo es de 2". Seguidamente se representa la operación dos, mediante línea horizontal de longitud 7", con su posterior traslado, de valor 2" a la operación tres, y así se actuaría de manera sucesiva.

Es importante resaltar los diferentes tipos de líneas que aparecen en la gráfica: línea recta horizontal continua para los procesos manuales, línea oblicua para el tránsito entre operaciones (movimientos, dejar-coger herramientas, etc) y línea recta horizontal discontinua para procesos máquina.

En la parte superior de la ruta estándar aparece diferente tipo de información, que variara según la compañía, entre la que destaca el valor del *Takt time* y de la cantidad de producto a producir planificada.

Volviendo al diseño objetivo, será necesario definir una ruta estándar de operaciones para cada uno de los operarios implicados, con la necesidad de coordinarlas para alcanzar un equilibrado entre puestos.



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Para la elaboración de las diferentes rutas estándar de operación, los puestos de trabajo diseñados en la fase de equilibrado, deben ser asignados a los operarios implicados, intentando minimizar, principalmente, el tiempo no productivo. En la figura 6.5 y en el Anexo VIII, en mayores dimensiones, se representa la ruta estándar de operaciones de la línea de modelo mixto objetivo.

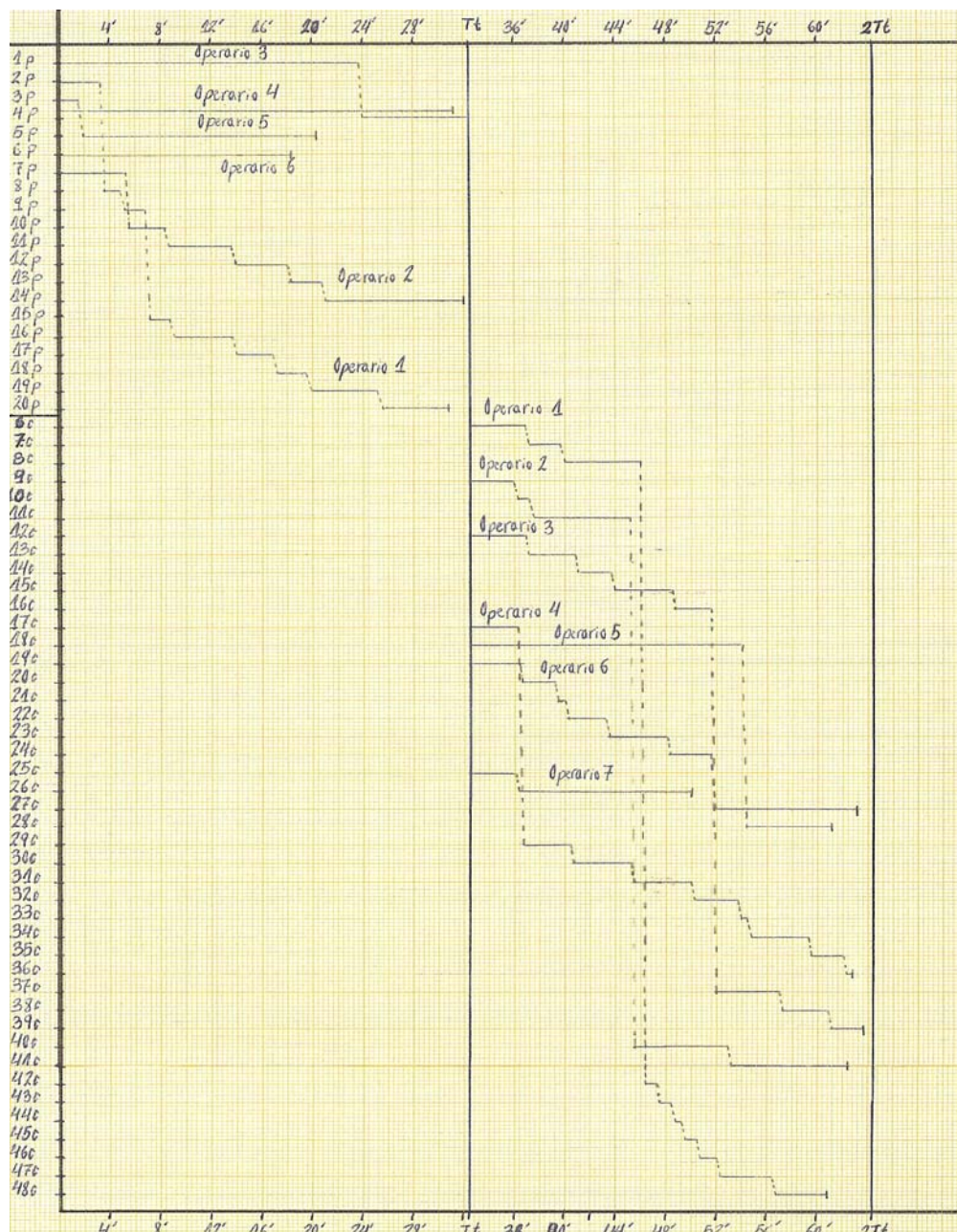


Figura 6.5 Ruta estándar de operación línea de montaje de modelo mixto



La realización de la ruta estándar es un proceso iterativo que consiste en asignar las tareas existentes en el puesto de trabajo, respetando, eso sí, las restricciones de secuencia.

Respecto a la notación empleada en la ruta estándar del proceso (figura 6.5) se menciona que, en este caso, al contrario que en el ejemplo anterior (figura 6.4) no es necesario distinguir entre tiempo manual y de máquina, al ser, como ya se explicado anteriormente, todo el tiempo del proceso manual. Tampoco, para evitar confusiones, se ha incluido en la gráfica datos respecto a definición de procesos y producciones planificadas. Lo que si es necesario aclarar es que, respecto a las tareas, se utiliza en subíndice “p” para referirse a las que forman parte de la *Prodrive* y el subíndice “c” para las del *Crawler*.

Las tareas están representadas en el eje y de menor a mayor, comenzando por las correspondientes a la caja de cambios *Prodrive* (subíndice c), mientras que el eje x representa la escala de tiempos, en la que cada subdivisión representa un intervalo de 24 segundos.

Respecto a las líneas utilizadas en el interior del gráfico, se han utilizado líneas continuas para representar los tiempos manuales de las tareas y discontinuas para los tránsitos entre tareas.

Si se comienza el proceso iterativo por el producto *Prodrive*, según marca la secuenciación de modelos calculada con anterioridad, el primer operario será el encargado de realizar, debido a las restricciones de secuencia, las tareas *Prodrive* que se llevan a cabo en el puesto de trabajo número uno, es decir el operario número uno realizará en el ciclo corto las tareas *Prodrive* T2, T8, T9 en la parte superior de la línea y las tareas T15, T16, T17, T18, T19 y T20 en la inferior. Esta asignación se refleja en la ruta estándar (figura 6.5) donde, como se puede comprobar, no solo aparecen la sucesión de las tareas a realizar sino que se representa, del mismo modo que en el ejemplo anterior, la duración de las diferentes tareas mediante una línea horizontal, cuya longitud, según la escala de tiempo elegida, marca el tiempo de operación de la tarea en



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

cuestión. Las transiciones entre operaciones vienen representadas mediante líneas discontinuas.

El tiempo muerto del puesto se hace visible al observar la diferencia existente entre la finalización de la última tarea asignada al operario, representada a partir de una línea vertical que corta a la ruta estándar, y el *Takt time*.

Una vez finalizado la ruta estándar de operaciones del ciclo corto, se actuaría de la misma forma para el ciclo largo. En este ciclo el primero de los operarios realizaría las operaciones T6, T7 y T8 en la parte superior de la línea y las T42, T43, T44, T45, T46, T47 y T48 por la parte inferior, según se refleja en el anexo de referencia.

Las diferentes etapas del proceso iterativo de elaboración de la ruta estándar siguen la misma lógica utilizada, en los párrafos anteriores, para el primer operario y su contenido se resume en la tabla a continuación presentada.

Tabla 6.49. Información ruta estándar de operaciones

Nº operario	Tareas ciclo corto	Tareas ciclo largo
1	T2, T8, T9, T15, T16, T17, T18, T19, T20	T6, T7, T8, T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48
2	T7, T10, T11, T12, T13, T14	T9, T10, T11, T40, T41
3	T1, T4	T12, T13, T14, T15, T16, T37, T38, T39
4	T4	T17, T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35, T36
5	T3, T5	T18, T28
6	T6	T19, T20, T21, T22, T23, T24, T27
7	-	T25, T26

Si se procede a analizar los resultados obtenidos tras la elaboración de la ruta estándar, se constata, en primer lugar, que no todos los operarios participan en tareas productivas durante los ciclos de producción, sino que el operario, como es bien sabido, únicamente participa en tareas productivas en el periodo del ciclo correspondiente al montaje del *Crawler*. Igualmente se observa que los tiempos muertos, anteriormente calculados en la fase de equilibrado, están representados en el estándar como tiempos no productivos.



6.6.- Cantidad estándar de trabajo en curso

Como ya se comentó en el apartado 3.6.2.3, la cantidad estándar de trabajo en curso, o *buffers*, marca la cantidad de inventario intermedio, pendiente de fabricación, que debe situarse entre los puestos de trabajo de la línea de producción, sin considerar el inventario de productos finales, con el fin de evitar paradas de línea y desequilibrios que impidan el alcance de los objetivos fijados.

El principal objetivo del enfoque *Lean*, como bien es conocido, es la eliminación de toda clase de despilfarro. Entre este despilfarro se encuentran los mencionados *buffers*, ya que, como se puede desprender de las líneas anteriores, son un tipo más de sobreproducción. Este despilfarro en la producción, unido a la necesidad de hacer más visibles los problemas que puedan surgir en el proceso productivo, obliga a mantener la cantidad mínima de trabajo en curso.

Debido a que, como se desprende de la ruta estándar de operación (figura 6.5) y de la aproximación inicial al *lay-out* (figura 6.2), el flujo de material y el de trabajo difieren en su secuencia, por lo que resultará necesario situar entre cada uno de los puestos de trabajo de la línea objeto un cantidad mínima de trabajo en curso o *buffers*.

La cantidad estándar de trabajo en curso consistirá en una unidad de producto como consecuencia, junto a lo comentado en el párrafo anterior, de que el tiempo de operación de la línea objeto es en su totalidad tiempo de mano de obra y a que no existe tiempo máquina debido a que, como ya se ha mencionado, las características de la maquinaria implicada (prensas). Este *stock* intermedio queda representado (iconos rojos), a continuación, en la figura 6.6 y, más adelante, en el anexo XII.

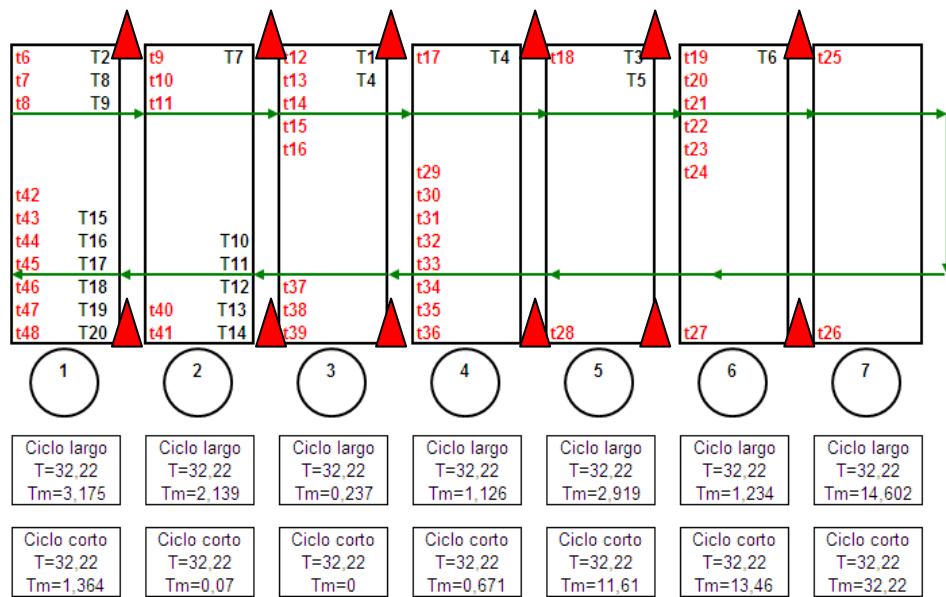


Figura 6.6. Representación cantidad estándar de trabajo en curso

6.7.- Sistema de aprovisionamiento

El aprovisionamiento es la función logística mediante la cual un proceso o sistema productivo se provee de todo el material necesario para su funcionamiento, con los objetivos de lograr un inventario mínimo suficiente para que la producción no carezca de suministros y establecer un sistema de información eficiente.

En este sentido, el presente punto se centra, principalmente, en el estudio, definición e implantación de un sistema de aprovisionamientos que, como se establecía en el párrafo anterior, sea eficiente.

6.7.1.- Listas de materiales

Previo a todo diseño del sistema de aprovisionamientos resulta necesario conocer los materiales y demás suministros que forman parte del sistema a aprovisionar. Por este motivo resulta imprescindible, alcanzado este punto, la realización de las listas de materiales de los productos implicados (Anexos IX y X).



Es necesario mencionar que las listas de materiales que presentan en los anexos X y XI no son listas propiamente dichas, sino que simplemente son una enumeración de las referencias que forman parte de cada uno de los productos implicados, debido a que con el simple conocimiento de las referencias implicadas, su número y condición bastará para diseñar el sistema de aprovisionamiento.

Respecto a la lista de materiales del *Crawler* (Anexo XI), conviene recordar, que debido a circunstancias ya expuestas y razonadas, se decidió realizar fuera del proceso los premontajes correspondientes al montaje del *Crawler*, y, por ese motivo, han de ser considerados como suministros. También se apunta, que existen tareas en el proceso que no son montajes propiamente dichos, y por ese motivo no necesitaran ningún tipo de suministro de material.

6.7.2.- Sistema de aprovisionamiento

De la observación de las listas de materiales presentadas en los anexos IX y X, se desprende que los suministros implicados en la línea de montaje objeto, se han dividido en dos grandes grupos. Los materiales considerados como consumibles son aquellos que no están específicamente diseñados para los productos implicados, su uso es generalizado y están normalizados. Entre estos productos se pueden encontrar: tornillos, tuercas, casquillos, retenes, pistones, arandelas, juntas, anillos, tubos, suplementos, tapones, engrasadores, segmentos, juntas, agujas, arandelas, bulones, placas separadoras, ferodos, pistas, chavetas, piñones, rodamientos, sensores, racores, anillos tóricos, etc. Estos elementos también se caracterizan por su pequeño tamaño.

El resto de elementos, cuyo concepto si ha sido descrito, son materiales específicamente diseñados para el montaje en los productos objeto, su tamaño, variable, es determinante y debido a sus características, complejidad y diseño su suministro es considerado crítico para el buen funcionamiento de la línea.

Debido a las diferencias explicitadas con anterioridad, se seleccionan un sistema de aprovisionamiento para cada uno de los dos grandes grupos de materiales implicados en el montaje.

6.7.2.1.- Sistema de aprovisionamiento materiales consumibles

Los aprovisionamientos consumibles, como se ha comentado con anterioridad, corresponden a materiales no críticos de pequeño tamaño y que cuyo diseño no es específico para los productos implicados. Estos productos están generalizados en el mundo industrial y, por ese motivo, pueden ser suministrados por diferentes proveedores, lo que implica una importante flexibilidad en el aprovisionamiento.

Debido a sus características, para su aprovisionamiento en la línea se usará un sistema visual muy común en la industria, caracterizado por su sencillez y flexibilidad. Este sistema está basado en el uso de estanterías como la mostrada en la figura 6.7.



Figura 6.7. Ejemplo de estantería inteligente

La estantería inteligente, como se puede apreciar en la figura anterior, se encuentra dividida en zonas, que contendrán contenedores en diferente estado de uso. En las zonas media y baja, mediante baldas inclinadas, se sitúan, en primera línea los materiales en uso, en sus respectivos contenedores estandarizados, que permitan un fácil acceso al operario durante el proceso. Detrás de cada uno de los contenedores se sitúa un



determinado *stock* de seguridad de la misma referencia, que en la línea objeto consistirá en un contenedor estándar, en cada uno de los productos consumibles, debido a la regularidad del suministro y a los cortos *Lead time* que ofrecen cada uno de los proveedores implicados. En la parte superior, mediante baldas inclinadas en sentido contrario a las anteriores, es decir hacia fuera del puesto de trabajo, se irán acumulando los diferentes contenedores vacíos tras su uso.

El funcionamiento es el siguiente: un determinado operario, en un determinado puesto de trabajo, consume materiales hasta la finalización del contenedor, que una vez vaciado sitúa en la parte superior de la estantería. El operario continúa con el proceso de montaje sirviéndose del *stock* establecido para el material. El operario encargado del suministro, dedicará su tarea a controlar las baldas superiores y a recoger los contenedores vacíos. Tras esta operación, conocerá las necesidades de material de la línea, que coincidirán en referencia y número con los contenedores vacíos recopilados. Tras la recogida del material necesario del almacén, el operario proveerá a las diferentes estanterías con dicho material, sin perturbar al desarrollo del proceso, debido a que el aprovisionamiento se realizará por la parte trasera de la estantería.

Las ordenes de aprovisionamientos llegadas al almacén, producirán, a su vez ordenes de compra, debido a que todos los elementos consumibles son comprados, en el departamento correspondiente.

6.7.2.2.- Sistema de aprovisionamiento elementos críticos

En contraposición con lo comentado en el apartado anterior, en referencia a los suministros consumibles, en la línea, como ya se ha comentado, existen elementos que son considerados como críticos. Debido a la radical importancia tanto en el producto como en el proceso, de los suministros en cuestión, resulta necesario diseñar un sistema que garantice un aprovisionamiento equilibrado y robusto. Con estos objetivos se toma la decisión de diseñar el método *Kanban* para la línea.

6.7.2.2.1.- Diseño del método *Kanban*



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Kanban, como ya se vio con anterioridad (apartado 3.8), permitirá enlazar, con la línea objeto, los diferentes procesos implicados, y asegurar un sistema de aprovisionamiento *pull*, que refleje perfectamente las distorsiones de la demanda, tanto para los suministros internos, fabricados en células o líneas de la propia compañía, como para los externos, comprados en el exterior.

La selección del método *Kanban* como sistema de aprovisionamiento para los elementos críticos de la línea se justifica, igualmente (apartado 4.2.4.2), debido a que es un método implantado en la actualidad en el la línea *Crawler* y, por tanto, es conocido por el personal implicado.

Dentro de todas las piezas definidas como críticas en las listas de materiales anteriores, el desarrollo del *Kanban* será idéntico en todas y cada una de ellas, y su funcionamiento, por etapas, se presenta a continuación, aunque sus bases ya hayan sido introducidas con anterioridad (apartado 4.2.4.2 y figura 4.8). Se menciona que el sistema representado en la figura 6.8, que coincide con la 4.8, estará presente en cada uno de los puestos de trabajo definidos en la línea de montaje de modelo mixto.

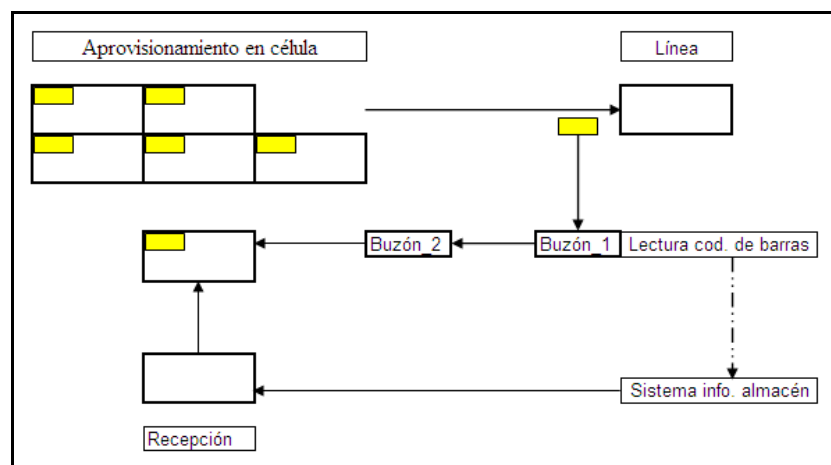


Figura 6.8. *Kanban* electrónico puesto de trabajo



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

- Según se refleja en la figura anterior, cada tarjeta *Kanban* de movimiento (representadas en color amarillo) ha de tener asociado un único contenedor de piezas.
- Los diferentes contenedores estándar han de estar diseñados para contener un número de piezas fijo para cada referencia y su estado únicamente puede ser “lleno” o “vacío”.
- El sistema se activa cuando, en la línea principal, comienza el proceso productivo propiamente dicho. Cuando la cantidad estándar de una determinada referencia es consumida en la línea, en su totalidad, la tarjeta *Kanban* de movimiento adosada al contenedor implicado, es depositada en el buzón número uno. En este buzón se irán depositando las tarjetas de cada una de las referencias implicadas en las tareas que se llevan a cabo en el puesto de trabajo y ha de seguir la regla *FIFO* (*first in first out*) con el objetivo de conservar el patrón de demanda.
- El operario encargado, con una determinada periodicidad, cada cuatro horas por ejemplo, mediante escáner manual, “leerá” toda la información, codificada mediante código de barras, contenida en las tarjetas *Kanban* de movimiento, y, tras la “lectura”, las depositará en el buzón número dos, con el objetivo, como se apuntó en el apartado 4.2.4.2, de evitar la pérdida de las tarjetas.
- La información decodificada se mostrará, mediante el pertinente sistema de información, en el almacén implicado, el cual procederá al aprovisionamiento de la línea.
- Los contenedores estándar situados en el almacén, según muestra la figura 6.9, contienen, de la misma forma, tarjetas *Kanban*, esta vez de producción, y su funcionamiento es idéntico al establecido en los puestos de trabajo, salvo que la información contenida en la tarjetas de producción tiene como destinatario o el departamento de compras, en el caso de referencias suministradas por proveedores externos, o las diferentes líneas de producción, propias de la organización, para el caso de suministro interno.

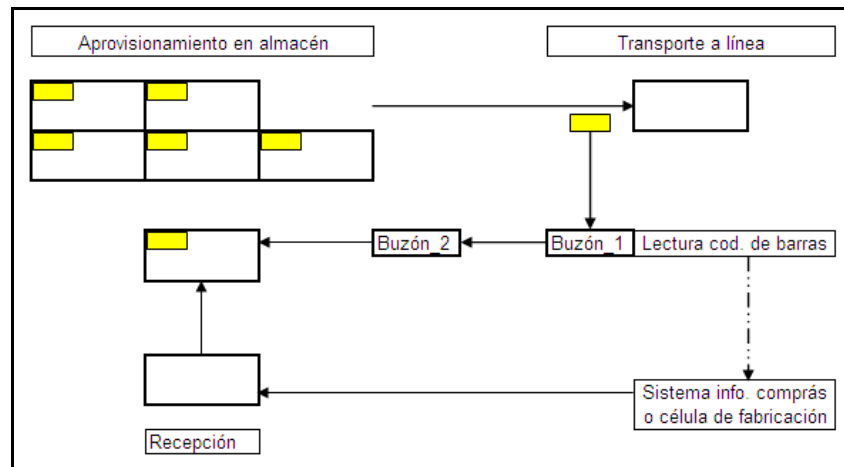


Figura 6.9. *Kanban* electrónico almacén

- Tras la llegada a la zona de recepción de los suministros necesarios, el operario encargado adosará a cada contenedor la tarjeta *Kanban* de movimiento correspondiente contenida en el buzón número dos. Tras la operación anterior, el contenedor, será colocado, en el lugar establecido dentro del puesto de trabajo, para su uso.

6.7.2.2.2.- Cálculo del número de tarjetas

Tema importante en el diseño del método *Kanban* es el que se refiere al número de tarjetas necesario para alcanzar un aprovisionamiento óptimo, debido a que el número de *Kanbans* en circulación fijará el *stock* en curso. Se menciona que en el presente caso únicamente se van a calcular el número de tarjetas de movimiento, debido a que, por regla general, la información necesaria para el cálculo del número de tarjetas de producción “pertenece” a otros departamentos implicados, compras principalmente, y su obtención no ha sido posible.

Para el cálculo del número de tarjetas *Kanban* de movimiento se va a utilizar la expresión ya adelantada en el punto 3.8.3.

$$N^{\circ} \text{ tarjetas Kanban} = \frac{DMD * LT * (1 + SS)}{QC}$$



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

- *DMD*: demanda media diaria
- *LT*: lead time
- *QC*: cantidad de artículos que contiene el contenedor estándar. Puede calcularse mediante las fórmulas de gestión de inventario independiente, de producción y consumo simultáneo.
- *SS*: stock de seguridad, expresado en tanto por uno.

Con la expresión anterior, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 6.50, que refleja el número de tarjetas *Kanban* de movimiento necesarias para cada uno de las referencias implicadas en el proceso de fabricación de la caja de cambios 2 velocidades.

Tabla 6.50. Cálculo del número de tarjetas *Kanban* de movimiento *Prodrive*

Producto:		Prodrive						
Demanda (und/mes):		367						
Días laborables mes:		20						
Tiempo diario efectivo (horas):		14,5						
Referencia	Descripción	Tarea	Cantidad	DMH	Lead time	SS	QC	Nº Kanban
CE19106	Carcasa	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
R136303	Planetario	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
R136302	Planetario	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
M378786	Satélite	T1	4	5,06	8	0,1	6	7
CE18972	Eje	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
R180260	Pistón	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19112	Corona	T1	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19207	Eje	T2	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19160	Hydro	T3	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19143	Carcasa	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19135	Carcasa	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19330	Eje	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19624	Carcasa	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19159	Pistón	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
R39285	Pistón	T4	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19433	Transportador	T4	1	1,27	8	0,1	6	2



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

CE19178	Pistón	T5	1	1,27	8	0,1	6	2
DE19179	Pistón	T5	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19176	Carcasa	T5	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19177	Tapa	T5	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19338	Eje	T5	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19178	Pistón	T6	1	1,27	8	0,1	6	2
DE19179	Pistón	T6	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19176	Carcasa	T6	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19177	Tapa	T6	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19338	Eje	T6	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19190	Flor	T7	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19191	Flor	T7	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19422	Carcasa	T9	1	1,27	8	0,1	6	2
CE18969	Tapa	T12	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19134	Tapa	T12	1	1,27	8	0,1	6	2
CE19161	Tapa	T16	1	1,27	8	0,1	6	2
CE18969	Tapa	T19	1	1,27	8	0,1	6	2

La tabla anterior, como ya se ha comentado, corresponde al cálculo del número de tarjetas *Kanban* de movimiento necesarias, para los suministros implicados en el proceso de montaje *Prodrive*. Los datos que se muestran en la parte superior de la tabla hacen referencia, como se indica, a la demanda de la caja *Prodrive* planificada para el mes de Mayo (tabla 5.5), a los días laborables del citado mes (tabla 5.5) y a las horas efectivas disponible por días (apartado 5.4.1). En referencia a cada uno de los suministros se ofrece información respecto a la referencia interna, una descripción del elemento, la tarea en que se utiliza y la cantidad en que aparece en el montaje, unida a la información necesaria para el cálculo del número de tarjetas: Demanda media horaria (misma información que la Demanda diaria horaria), plazo de reposición, cantidad de artículos que tiene cada contenedor y el *stock* de seguridad establecido.

Respecto a esta última información, es conveniente aclarar como se ha calculado, y para ello se toma, a modo de ejemplo la primera referencia (carcasa CE19106):

La Demanda media horaria (DMH) se ha calculado utilizando los datos contenidos en la parte superior de la tabla y la cantidad de material necesaria para el montaje del producto según la expresión:



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

$$DMH = \frac{\text{Demanda producto}}{\text{Días laborables} * \text{Tiempo diario efec.}} * \text{Número de unidades material necesario}$$

Utilizando la ecuación para el cálculo de la Demanda media horaria del ejemplo se obtiene:

$$DMH = \frac{367 \text{ unidades / mes}}{20 \text{ días / mes} * 14,5 \text{ horas / día}} * 1 = 1,27 \text{ unidades / hora}$$

El *Lead time* hace referencia al plazo de reposición, es decir el periodo de tiempo en que la línea se abastece. En el diseño se ha optado por establecer un periodo de reposición de 8 horas, es decir uno cada turno, con el fin de no obtener un número de tarjetas elevado, lo que incrementaría el *stock* en curso y los despilfarros que de este inventario se derivan.

Para dimensionar el *stock* de seguridad (SS), se ha optado por tomar una decisión, muy común en la industria de dotar a la línea de un *stock* de seguridad del 10% para todas las referencias, con el fin de cubrir las variaciones de demanda durante el plazo de entrega.

En el caso de la cantidad de artículos que contiene cada contenedor estándar (QC) se ha decidido tomar la decisión de establecer un número idéntico para todas las referencias, seis unidades de producto en cada contenedor. Este número trata, como en casos anteriores, de evitar que aumente el número de tarjetas *Kanban*, y con él el *stock* intermedio.

Con los datos explicitados con anterioridad y la expresión, ya conocida del número de tarjetas *Kanban* se obtienen los valores para cada referencia, que para caso del ejemplo tiene un valor de:

$$N^{\circ} \text{ tarjetas Kanban} = \frac{DMH * LT * (1 + SS)}{QC}$$



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

$$N^{\circ} \text{ de tarjetas Kanban} = \frac{1,27 \text{ unidades / hora} * 8 \text{ horas} * (1 + 0,1)}{6 \text{ unidades}} \approx 2 \text{ tarjetas Kanban}$$

Actuando de la misma forma anterior para el caso del *Crawler*, se obtiene:

Tabla 6.51. Cálculo del número de tarjetas *Kanban* de movimiento *Crawler*

Producto:		Crawler						
Demanda (und/mes):		156						
Días laborables mes:		20						
Tiempo diario efectivo (horas):		14,5						
Referencia	Descripción	Tarea	Cantidad	DMH	Lead time	SS	QC	N° Kanban
T208513	Carcasa	T6	1	0,54	8,0	0,1	6	1
T200364	Tapa	T18	1	0,54	8,0	0,1	6	1
CE19089	Tapa	T43	1	0,54	8,0	0,1	6	1

En referencia a los premontajes del mando final *Crawler*, se destaca que se considerarán como elementos críticos, pero su sistema *Kanban* diferirá en que, debido a la cercanía entre las células de fabricación de los diferentes premontajes y la línea principal, ambos procesos se comunicarán con un único tipo de tarjeta, de producción en este caso. La tabla 6.52 muestra el cálculo del número de tarjetas de producción necesarias.

Tabla 6.52. Cálculo del número de tarjetas *Kanban* de producción premontajes *Crawler*

Producto:		Crawler						
Demanda (und/mes):		156						
Días laborables mes:		20						
Tiempo diario efectivo (horas):		14,5						
Referencia	Descripción	Tarea	Cantidad	DMH	Lead time	SS	QC	N° Kanban
Prem. lágrima	Prem. lágrima	T11	1	0,54	0,8	0,1	1	1
Prem. corona	Prem. corona	T15	1	0,54	0,2	0,1	1	1
Prem. tambor	Prem. tambor	T17	1	0,54	0,3	0,1	1	1
Prem. portapl.	Prem. portapl.	T27	1	0,54	0,4	0,1	1	1
Prem. freno	Prem. freno	T37	1	0,54	0,4	0,1	1	1

En este caso, como se puede observar en la tabla 6.52, se ha tomado la decisión de establecer como *Lead time* el tiempo de producción de cada uno de los premontajes

(tabla 5.5) medido en horas y como valor de QC la cantidad de una unidad, debido a que las células donde los premontajes serán ensamblados entregarán los productos de unidad en unidad según fije el sistema de aprovisionamiento.

El funcionamiento del método *Kanban* para los premontajes del mando final *Crawler* queda reflejado en la figura 6.10.

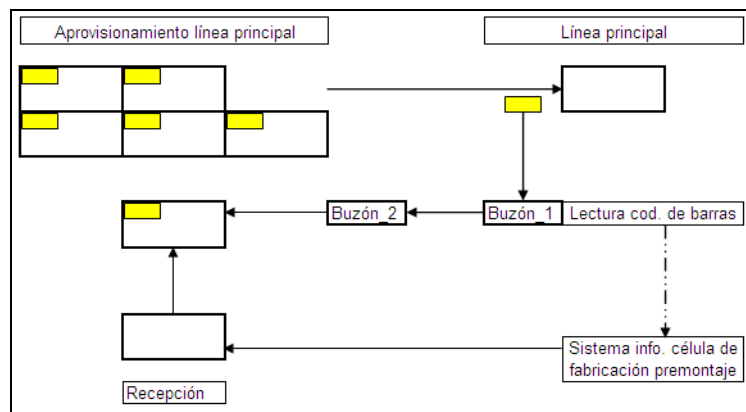


Figura 6.10. *Kanban* electrónico línea principal-premontajes *Crawler*

El funcionamiento es análogo a los explicados con anterioridad (figuras 6.8 y 6.9). La línea principal, en el montaje del mando final, consume una unidad de un determinado premontaje. Esta unidad lleva adosada una tarjeta *Kanban* de producción que el operario del puesto de trabajo implicado, depositará en el buzón número uno. El operario encargado, con una periodicidad más frecuente que los sistemas anteriores, leerá electrónicamente la información contenida en dicha tarjeta y la depositará en el buzón número dos, para evitar su extravío. Mediante el pertinente sistema, la célula recibirá la orden de producción y enviará una unidad de producto a la línea principal. A la llegada de la unidad a la línea principal, se le adosará la tarjeta *Kanban* correspondiente y será transportada al puesto de trabajo correspondiente.

6.7.2.2.3.- Diseño de las tarjetas *Kanban*

En referencia al diseño físico de las tarjetas *Kanban*, es, en la industria actual, muy variable, pudiendo contener una muy variable cantidad de información. En el presente



proyecto se ha tomado la decisión de diseñar una tarjeta *Kanban* sencilla y didáctica que no contenga más información de la necesaria. Este diseño se muestra en la figura 6.11

Referencia:	Descripción:
Puesto de trabajo:	
Origen:	Capacidad contenedor:
Destino:	Tipo contenedor:
Nº de Kanban:	CÓDIGO DE BARRAS

Figura 6.11. Diseño tarjeta *Kanban*

Los únicos campos que resulta necesario aclarar, debido a que el resto son ya conocidos, son los campos origen y destino. El campo origen hace referencia al almacén del cual proviene el contenedor, es decir el lugar dónde el operario encargado podrá encontrar el material a suministrar. Por el contrario el campo destino indica la línea de montaje o célula a la cual debe dirigir el aprovisionamiento.

6.8.- Ajuste a las variaciones de la demanda

En el comienzo del documento, concretamente en el apartado 1.2, resultaba necesario establecer una serie de objetivos que impulsaran y justificaran la realización del mismo. Entre los objetivos propuestos a priori, se situaba la necesidad de que: "...el sistema diseñado satisfaga la demanda establecida, para cada uno de los productos, siendo capaz de absorber variaciones de esta, por exceso o defecto, de hasta el 20%", por lo que, alcanzado este punto, resulta necesario explicar las medidas a adoptar ante situaciones de cambio de demanda.



6.8.1.- Aumento de demanda

El aumento en los valores de demanda, es la variación que mayores y más acusados problemas puede generar en la organización, en forma de costes de oportunidad, pérdida de cliente y pérdida de posicionamiento en el mercado y en la cadena de valor del producto. Por este motivo, como ya se apuntó en el apartado 5.4.2, se ha diseñado el sistema en exceso. Esta última idea queda reflejada en el cálculo de la demanda a capacidad, piedra angular de todo el proceso de diseño de la línea de montaje, ya que el valor que se le dio fue la demanda máxima mensual, que correspondía, como se puede observar numéricamente en la tabla 5.5 y gráficamente en el figura 5.4, al mes de Mayo, en el cual, las previsiones establecían como nivel de demanda la cantidad de 27 unidades de producto. Este exceso de capacidad permite al sistema responder con facilidad a situaciones no previstas de aumentos de demanda.

Lo visto con anterioridad no es la única herramienta con la que cuenta el sistema para responder a situaciones de exceso de demanda, ya que podrían aparecer situaciones en los que el aumento se produzca en los meses cuya producción prevista, máxima en el año, se utilizó para dimensionar el sistema. Ante la posibilidad de ocurrencia de este escenario (por ejemplo que en el mes de Mayo la demanda real sea superior a 27 unidades de producto), se ha diseñado el funcionamiento normal de la línea a dos turnos, por lo que el sistema podría responder, al comentado aumento de demanda, estableciendo un tercer e incluso un cuarto turno.

6.8.2.- Disminución de la demanda

La diferencia por defecto entre la demanda prevista y la real, provoca, principalmente, sobre producción en planta y la aparición de los despilfarros que de ella derivan (aumento de *stock*, desperdicio de recursos y capacidad de las personas, disminución del espacio disponible en planta), por este motivo resulta necesario adaptar el sistema a las condiciones existentes.

Para esta adaptación es necesario ajustar el número de operarios a las necesidades de la demanda, mediante la modificación del tiempo de ciclo y, por consiguiente, de las asignaciones de trabajo, mediante las correspondientes rutas estándar de operación.



Dado que el sistema planteado establece cambios de asignación de actividades constante entre operarios, será necesario dotar de medidas visuales, como las vistas en el apartado 3.13.1, a las instrucciones de trabajo, con el fin de facilitar el entendimiento y la comprensión de los operarios en su actuación dentro del proceso productivo, de la misma forma que la polivalencia entre los operarios se establece como una necesidad.

6.9.- Recursos humanos. Polivalencia

Tradicionalmente, los departamentos de producción y de mantenimiento de plantas industriales se han dividido en secciones estancas, tratando de mejorar la productividad en unos casos, o promovidos por los propios trabajadores en otros. Esta especialización en el trabajo delimitaba perfectamente el campo de acción de cada una de estos departamentos, pero introducía en el sistema una importante base cultural que impedía el desarrollo y la adaptación de la organización al entorno y, por consiguiente, su supervivencia, ya que:

- Los trabajos que requerían de varias especialidades disminuían su rendimiento. La espera de un especialista, durante el tiempo productivo de otros operarios, hacía que el rendimiento del personal implicado disminuyese.
- Aumentaba el número de operarios imprescindibles. Con la especialización se producía un incremento del número de trabajadores “únicos” que realizaban tareas específicas para las que no existía personal adicional con la formación y entrenamiento necesario.

Como se apuntó con anterioridad, esto llevo a la organización al tránsito cultural entre el Sistema por incentivos (apartado 2.3.1.1), basado en la especialización del trabajo, y el Trabajo en equipo (apartado 2.3.1.2.) dónde la polivalencia es una condición necesaria.

Igual de necesaria es la polivalencia de los operarios en la línea de montaje diseñada, ya que, como se puede desprender del apartado referente al establecimiento de la secuencia de trabajo (Anexo VIII) y al punto donde se aborda el ajuste a la demanda (6.9), los operarios que formen parte del proceso productivo, deberán realizar: rotaciones entre



puestos de trabajo dentro del mismo turno y entre turnos, donde abordarán el montaje de ambos productos del mix en momentos diferentes del ensamblado, tareas de apoyo, mantenimiento y calidad, en el conjunto de la línea, e incluso en determinadas situaciones, dependiendo del nivel de demanda o necesidad, deberán abandonar el proceso productivo objeto y realizar tareas en otras células o líneas independientes de la organización.

Debido a la importancia, justificada en los párrafos anteriores, de la polivalencia de los operarios, es conveniente desarrollar un plan de acción para mantenerla, mejorarla y, en las situaciones que no exista, crearla. Dicho plan de acción se implantará en la línea objetivo siguiendo el proceso por etapas que a continuación se presenta:

- **1.- Identificar tareas exclusivas.** Son tareas exclusivas aquellas que solo realizan un número muy pequeño de operarios. Como comentario se apunta que ninguna de estas tareas se encuentra en el proceso productivo de estudio.
- **2. Identificar tareas susceptibles de ser realizadas por personal de otras especialidades.** No todas las tareas pueden ser realizadas por cualquier operario (algunas necesitan una alta formación y un periodo largo de entrenamiento para ser desarrolladas con eficacia), pero otras muchas pueden ser realizadas por cualquier operario con un periodo de formación mínimo.
- **3. Desarrollar un plan de formación** que incluya entrenamiento en la realización de tareas que se consideren exclusivas y en aquellas tareas que se consideren susceptibles de generalizarse.
- **4. Realizar ese plan de formación.** Por supuesto, no sólo se debe realizarse la fase de diseño del plan, sino que se deben establecer recursos y plazos necesarios para realizarlo, y llevarlo a cabo
- **5. Estandarización de operaciones.** Si todas las actividades que realiza el departamento estuvieran adecuadamente estandarizadas, con instrucciones y procedimientos claros y entendibles por cualquiera, la exclusividad y la



especialización no serían un problema. Este tema se abordó en el apartado 5.8 del documento.

- **6. Primar económicamente la polivalencia.** Si se revierte en los propios operarios una parte del ahorro que supone para la empresa tener personal polivalente, se consigue motivar al personal a que opte por la no especialización. Es importante que, para que tenga algún efecto, debe figurar en su nómina como un plus complementario por polivalencia, en vez de aumentar el grueso salarial principal.
- **7. Crear categorías en función de la polivalencia.** Determinadas empresas que han optado por la polivalencia han establecido una diferencia entre el personal formado en varias especialidades y el personal especializado. La categoría más alta corresponde al personal polivalente. Este aumento de categoría puede tener o no una repercusión económica.
- **8. Seleccionar al personal de nueva incorporación con la condición de ser polivalente.** Para llevar a efecto esta forma de fomento de la no especialización, tan solo es necesario que al nuevo personal se le exija entre las condiciones para su contratación tener conocimiento y/o experiencia en diversas especialidades.

6.10.- Lay-out

Alcanzado este punto del diseño, resulta necesario comenzar con el diseño del *lay-out* o la disposición en planta.

6.10.1.- Lay-out diseño

En primer lugar, resulta necesario apuntar los principales principios, impuestos por el enfoque, que gobernarán el proceso de configuración en planta de la línea:

- Los puestos de trabajo, en la medida de lo posible, deben estar orientados según la dirección y el sentido de avance del proceso de fabricación.



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

- El diseño debe permitir ayudas entre operarios (flexeo entre puestos de trabajo) para casos de rotura de tiempos de ciclo.
- Deben evitarse distribuciones en planta que generen aislamientos tanto de puestos de trabajo como de operarios.
- Se debe disminuir la distancia entre puestos de trabajo con el fin de maximizar el uso del espacio disponible, disminuir el despilfarro en forma de movimientos y transporte y mejorar la comunicación entre trabajadores.
- Es recomendable que un único operario se encargue de las tareas implicadas en el primer y último puesto de trabajo.
- Debe habilitarse zonas de *scrap* y reproceso.
- Reservar espacio en los puestos de trabajo para un almacenaje correcto del material y las distintas referencias implicadas.
- Deben respetarse la normativa de seguridad y ergonomía en el trabajo, tanto la interna como la externa (Anexo XI).

Junto a los principios expuestos anteriormente, lo que va a determinar principalmente la configuración de los diferentes puestos de trabajo, son las tareas que en ellos se realizan y la maquinaria, herramientas y materiales necesarios para llevarlas a cabo. En la tabla 6.53 se muestran, según el equilibrado conjunto fijado en la figura anterior 6.1, las tareas que se van a realizar en los diferentes puestos de trabajo, teniendo en consideración que la configuración en “U” de la línea de montaje implicará que unas tareas se realicen en la parte superior y otras en la parte inferior de la mencionada línea.

Tabla 6.53 Tareas a desarrollar en los diferentes puestos de trabajo

Puesto de trabajo	Tareas Prodrive Sup.	Tareas Prodrive Inf.	Tareas Crawler Sup.	Tareas Crawler Inf.
1	T2, T8, T9	T15, T16, T17, T18 T19, T20	T6, T7, T8	T42, T43, T44, T45 T46, T47, T48



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

2	T7	T10, T11, T12, T13 T14	T9, T10, T11	T40, T41
3	T1, T4	-	T12, T13, T14, T15 T16	T37, T38, T39
4	T4	-	T17	T29, T30, T31, T32 T33, T34, T35, T36
5	T3, T5	-	T18	T28
6	T6	-	T19, T20, T21, T22 T23, T24	T27
7	-	-	T25	T26

Para la realización de las diferentes tareas, es necesaria, como se ha comentado con anterioridad, la participación de máquinas, herramientas y diferentes suministros. Los diferentes recursos necesarios en cada uno de los puestos de trabajo se muestran en la tabla 6.54.

Tabla 6.54. Recursos necesarios

Puesto de trabajo	Maquina ria	Herram. Herram.	Nº consum. sup.	Nº consum. inf.	Nº críticos sup.	Nº críticos inf.
1	Prensa	Polipasto	21	36	3	3
2	Prensa	Polipasto Pistola neumática	8	32	3	2
3	Prensa	Polipasto Pistola neumática	55	2	13	1
4	Prensa	Polipasto	41	8	6	0
5	Prensa	Polipasto Pistola neumática	23	1	6	0
6	Prensa	Polipasto	21	0	5	1
7	-	Polipasto Pistola neumática	0	0	1	0



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

Con lo mostrado en las dos tablas anteriores, se tiene toda la información necesaria para comenzar el diseño del *lay-out* de la línea de montaje objeto. La distribución de las tareas en los puestos de trabajo vendrá impuesta, como ya se apuntó, por la información contenida en la tabla 6.53 y el dimensionamiento de los puestos por los recursos necesarios (tabla 6.54).

Respecto al dimensionamiento de los puestos de trabajo implicados, cada uno de los recursos necesarios generará diferentes necesidades de espacio y su situación, dentro del puesto, será variable. Por este motivo, y comenzando con el diseño propiamente dicho del *lay-out* se establece que:

- Las prensas, única maquinaria pesada necesaria, serán idénticas en todos los puestos de trabajo donde sean necesarias. Su situación en el puesto, debido a sus dimensiones y características, será tal que no dificulte el soporte y ayuda entre puestos ni cree zonas aisladas. Debido a las dimensiones del tipo de prensa utilizada (1 m x 0,5 m) y la ergonomía necesaria, el espacio reservado para la zona de prensa es de 1,80 m x 1,3 m.
- Los tipos de polipasto utilizados variarán en función del peso de los montajes a manipular en cada posición. Su posicionamiento no será problemático ni determinante ya que su instalación ha de realizarse, mediante diferentes estructuras, por encima del puesto de trabajo.
- La situación de las pistolas neumáticas seguirá, de la misma forma, las ideas de ergonomía, reducción del espacio y movimientos en el puesto y la eliminación de la posibilidad de zonas aisladas. El espacio reservado para la instalación neumáticas es de 0,5 m x 0,5 m, con el fin del cumplimiento de los objetivos establecidos.
- Respecto a los aprovisionamientos consumibles ya vistos y explicitados con anterioridad, se tomó la decisión de almacenarlos en la línea, según el sistema de aprovisionamiento definido, mediante estanterías. En las estanterías estándar definidas (figura 6.7), se podrán almacenar hasta nueve diferentes recursos consumibles, por este motivo el número de estantería vendrá impuesto por la



Capítulo 6. Diseño de una línea de montaje de modelo mixto

cantidad de referencias necesarias en cada puesto de trabajo. Las dimensiones de los espacios definidos para situar las estanterías estándar se establecerá en 1.000 mm x 750 mm. En este sentido, y para alcanzar los objetivos de ergonomía y optimizar espacios, debido al variable número de referencias a almacenar en cada puesto, se puede diseñar otro tipo de estantería estándar, más pequeña que la anterior (750 mm x 750 mm), cuyo contenido será de 6 referencias.

- Respecto a los aprovisionamientos críticos, su almacenamiento será en planta en los contenedores estándar establecidos, con los mismos objetivos que en los puntos anteriores y con una dimensionamiento medio en el puesto de 0,75 m x 1 m.

Tras el dimensionamiento que los recursos necesarios implican, la seguridad y ergonomía de los puestos de trabajo vienen impuestas por lo definido en el anexo XI. Lo más importante a tener en cuenta de lo que el anterior anexo establece es:

- Mangueras e instalaciones de canalización (aire, eléctricas, etc) han de instalarse fuera de las zonas de paso.
- Los puestos de trabajo deben de tener dos accesos de 80 cm de ancho cada uno.
- El espacio libre para el trabajador debe ser como mínimo de 2 m².
- El almacenamiento del material alrededor del puesto no puede exceder de 2 m de altura.
- La distancia entre máquinas debe ser de 80 cm

Respecto al transporte de los diferentes subensamblajes entre puestos, se toma la decisión de realizarlo mediante cintas transportadoras, cuyo avance será dirigido por el personal operativo.

Uno de los elementos innovadores establecidos en la línea es la posibilidad de que cada uno de los subproductos vuelva, mediante cintas transportadoras, al puesto de trabajo anterior. Este diseño permite que, detectado por el personal un defecto en el producto,



ya sea mediante técnicas visuales, *Jidoka* u otras herramientas, el subproducto vuelva al puesto anterior para la eliminación del defecto. Esta reparación será abordada por uno o varios operarios (flexeo punto 3.6.2.3) durante el período de tiempo que no tengan tareas asignadas. Se debe ser cuidadoso en el uso de esta línea auxiliar, ya que el objetivo no es su uso injustificado y no debe ser la solución para problemas rutinarios y menores. La razón de su diseño radica en dotar a la línea de una respuesta rápida, segura y efectiva a la aparición de defectos que aparecen periódicamente en el proceso actual.

El desarrollo lógico en el tiempo de la línea de montaje, mediante la mejora continua, llevará al descenso de las probabilidades de error en el proceso, lo que conducirá a la simplificación e incluso eliminación de la comentada y actualmente necesaria “línea hospital”.

Otra zona que resultará necesaria definir será el área donde se situarán los productos con defectos detectados no recuperables o *scrap*. Se decide, por el tamaño de los diferentes productos implicados, dotar a esta zona de un espacio igual a $1,5 \text{ m}^2$ (3 m x 0,5 m).

Como se apuntó en el apartado 6.6 la cantidad mínima de trabajo en curso o *stock* intermedio, se fija en una unidad de producto entre los diferentes puestos de trabajo.

Siendo riguroso en el cumplimiento de los principios e imposiciones establecidos con anterioridad, se establece como diseño del *lay-out*, el reflejado en el anexo XII.

6.10.2.- Herramientas *Lean* en el *Lay-out*

Aparte de la configuración en planta de la línea de montaje, resulta necesario explicitar las técnicas *Lean*, relacionadas con *lay-out*, que van a gobernar su funcionamiento.

6.10.2.1.- Control visual

Como ya se comentó en el desarrollo del punto 3.13.1, se conoce por Control Visual a un conjunto de sistemas que permiten a cualquier persona evaluar, de manera rápida y fácil, el estado actual de una operación o proceso, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.



El Control Visual es imprescindible, y puede usarse como punto de partida para todo sistema que tenga como objetivo la implantación de la filosofía *Lean Manufacturing*. En el diseño de la línea en cuestión, se han decidido diseñar varias herramientas visuales, que son expuestas a continuación.

Uno de los principales problemas que rodean a las líneas de modelo mixto, es la confusión que puede generar en los operarios la secuenciación de modelo, ya que, con frecuencia, es complejo responder a la pregunta ¿qué modelo estoy fabricando? Esta confusión puede generar errores en el montaje o el no cumplimiento del plan de fabricación. Con el fin de evitar esta confusión se toma la decisión de diseñar, un código de colores diferente para cada producto del mix. Los subproductos llevarán adosados un código, rojo si se trata del *Crawler* o negro en el caso de la *Prodrive*, que los hará diferenciados. Para el caso de las diferentes piezas y elementos a ensamblar, la decisión va en el sentido de diseñar los diferentes contenedores respetando la idea anterior (contenedores rojos piezas *Crawler*; contenedores negros piezas *Prodrive*). En este sentido, vital importancia posee el primer operario, ya que será el encargado de iniciar el proceso productivo y, por tanto, será el único que tendrá a su disposición la secuenciación programada y por tanto de realizar la primera codificación del producto y chequear su salida, al realizar sus operaciones en el primer y último puesto.

Igualmente imprescindible será la delimitación de contornos tanto de la línea como de los diferentes puestos de trabajo y los elementos contenidos en estos. Este control visual permitirá a simple vista conocer la falta de cualquier elemento implicado, ya sea directa o indirectamente, en el proceso productivo, mediante la visualización de los huecos existentes.

Una vez presentadas dos medidas visuales diseñadas para el proceso, resulta conveniente recordar que uno de los principales y más importantes despilfarros es el desperdicio de la capacidad de las personas (punto 3.2). Por este motivo el grueso de las técnicas visuales deberán ser propuestas, diseñadas e implantadas por los operarios implicados, ya que estos son, por un lado los que mejor conocen el proceso, y por otro los usuarios de dichas técnicas. Con este diseño a posteriori se evitará que las herramientas diseñadas no sean utilizadas, debido a que al haber sido propuestas por el



personal implicado su uso está garantizado, y, de la misma forma, se fomentará la participación en la mejora del diseño productivo.

6.10.2.2.- Sistema *Andon*

Una herramienta muy relacionada con la anteriormente propuesta, es el ya conocido Sistema *Andon* (apartado 3.13.2), Respecto a este sistema, lo más importante a resaltar es que los motivos para su uso, que implican la parada de la línea, deben estar estandarizados y deben ser perfectamente comprendidos por el personal, ya que la parada de la línea no es un tema baladí y un mal uso del sistema puede acarrear graves consecuencias.

El código de colores establecido para la línea en proceso de diseño es:

- Luz roja: parada por defecto.
- Luz amarilla: falta de material.
- Luz azul: avería.
- Luz verde: funcionamiento normal.

6.11. Puestos de trabajo

El puesto de trabajo, *Gemba* en la cultura *Lean*, es por definición el lugar donde se desarrolla el proceso y, por consiguiente, donde se agrega valor al producto. La cultura que, hasta el momento, ha rodeado a todo el proceso de diseño, se mantiene operativa en la definición de los puestos de trabajo, por lo que el principal objetivo que se persigue seguirá siendo la eliminación de toda clase de despilfarro (*muda*).

Para la consecución de dicho objetivo, en lo que al diseño de puestos de trabajo respecta, será de obligado cumplimiento, en un primer y fundamental paso, la introducción de la metodología 5S's, cuya filosofía y proceso de implantación ya fue comentado en el punto 3.5. Resulta conveniente resaltar que en un gran número de ocasiones, debido al sencillo contenido teórico y práctico de sus etapas, se llega equívocamente a pensar que dicha implantación es trivial. Nada más alejado de la



realidad. La implantación de 5S's necesitará un fuerte apoyo de la organización y un importante esfuerzo personal, para lograr alcanzar las diferentes etapas y mantenerlas en el tiempo, logrando el esperado cambio cultural.

Una vez completada la implantación de las 5S's, otras herramientas cobran presencia en el puesto de trabajo como pueden ser los métodos *Poka-Yoke*, *Jidoka* o, relacionándolo con el punto anterior, diferentes Controles Visuales. Respecto a estas herramientas que cobran visibilidad en el *gemba*, se recuerda, como ya se comentó en el apartado anterior, que para optimizar el uso y utilidad de estas técnicas su definición, diseño e implantación deben partir, aunque asesorados mediante equipos de trabajo, de los operarios, conocedores del proceso y del entorno.

De las líneas anteriores se puede desprender que gran parte de las posibilidades de mejora se encuentran en el puesto de trabajo.

Lo visto con anterioridad, responde a la filosofía y cultura que deben regir en la organización y en los puestos de trabajo y a las diferentes técnicas *Lean* visibles pero, alcanzado este punto, es imprescindible centrar el estudio en el diseño físico de los puestos de trabajo.

El diseño físico se centra en la idea de “atacar” al despilfarro desde el punto de vista del desplazamiento. Al poner las piezas y los accesorios al alcance inmediato de los operarios, los puestos de trabajo optimizan gestos y desplazamientos para concentrarlos hacia la creación de valor. Para ello es necesario definir una zona que cumpla con condiciones de ergonomía (Anexo XI) y que los movimientos del operario en el proceso se reduzcan a la mínima expresión acercando materiales, instrumentación y maquinaria. Esta zona conocida como zona de *strike* variará en función de las necesidades de cada puesto, y algunos ejemplos del objetivo perseguido se muestran en las siguientes figuras.



Figura 6.12. Puesto de trabajo actual *Prodrive*

La figura 6.12 muestra un puesto de trabajo establecido en la línea de montaje previa de la caja de cambios *Prodrive*. En el puesto se pueden observar pautas a mantener en la línea de montaje objetivo como la ergonomía del puesto, las hojas de apoyo a la fabricación (parte superior del puesto), la limpieza visible, cercanía de instrumentos y el almacenaje mediante contenedores estándar. Como mejora a implantar en la línea en diseño, se establece la aproximación del material que está fuera de la zona de *strike*, para reducir los movimientos y desplazamientos del personal.



Figura 6.13. Ejemplo del almacenaje en los puestos de trabajo

En la figura anterior, ya vista, que corresponde a un proceso no estudiado, se muestra la idea a implantar para el diseño de los puestos de trabajo en la línea objetivo. En ella se puede observar como el material necesario para el montaje se encuentra a la mano del operario (zona de *strike*) y el aprovisionamiento se produce frontalmente. A evitar en la línea es el almacenaje en el puesto de referencias, piezas y herramientas en contenedores no estandarizados, en la imagen se pueden ver simples cajas, que no permitirá la consecución de los objetivos fijados en el control visual y que favorecerá la aparición de errores, y sus consecuentes defectos, en el proceso de montaje.

La idea que subyace en las últimas líneas, implica que la estandarización de los contenedores de material, a posicionar en los diferentes puestos, de trabajo sea necesaria. La elección de los contenedores y sus colores enlaza con la idea de control visual visto durante el desarrollo del punto 6.10.2.1, y algunas posibilidades se muestran a continuación:



Figura 6.14.- Ejemplo de contenedor estándar



Figura 6.15.- Ejemplo de contenedor estándar



Figura 6.16.- Ejemplo de contenedor estándar



6.12.- Otras técnicas Lean Manufacturing

Una vez concluidos los cálculos y diseños directamente implicados en la definición de la línea de montaje propiamente dicha, el presente apartado se refiere a otras técnicas *Lean*, cuya implantación será necesaria para el logro de los objetivos que *Lean Manufacturing* fija y para fomentar la aparición de sinergias dentro del sistema.

Aunque durante el desarrollo del capítulo 3 se ha aportado una guía detallada, las diferentes implantaciones no serán vistas en profundidad debido a que, en primer lugar, no son objetivo del documento y a que, en segundo lugar, su extensión y detalle implicarían un estudio aparte.

- **TPM.** Focalizará su actuación en el logro del “cero averías”. Provocará mejoras en otros objetivos *Lean*, por la aparición de sinergias.
- **Mejora continua.** Piedra angular de la filosofía *Lean*. Estará, obligatoriamente, hábil durante toda la vida útil de la línea, en particular, y de la organización, en general, y su desarrollo, dedicación y éxito estarán fuertemente ligados a la supervivencia de la compañía.
- **Calidad.** Abordará determinados problemas de calidad, como los presentados en el apartado 4.2.2.3.



Capítulo 7.- Conclusiones y futuros desarrollos

7.0.- Introducción

Tras la propuesta de nuevo diseño para el montaje de los productos implicados, el presente capítulo comenzará con un análisis previo de la situación actual de la metodología *Lean* en *John Deere Ibérica*, para posteriormente valorar la viabilidad de la implantación del presente estudio y los beneficios a obtener, finalizando con diferentes propuestas respecto a futuros desarrollos respecta.

7.1.- *Lean manufacturing* en *John Deere*. Análisis de implantación

Como se ha comentado en varias ocasiones a lo largo del estudio, la filosofía *Lean manufacturing* no consiste en la implantación de un número de herramientas aisladas en ciertas áreas de la organización, sino que debe considerarse como un cambio en el enfoque cultural de toda la organización con el objetivo, como ya se ha comentado, de eliminar toda clase de despilfarro.

Para lograr el objetivo marcado la Dirección de *John Deere* implantó cambios en la organización, tanto en el sistema social como en el técnico, que favorecieron y sirvieron como base a la posterior implantación de herramientas concretas *Lean*, las cuales, de igual forma, no fueron iniciadas al azar sino siguiendo una determinada cronología.

Como se verá con posterioridad los cambios, tanto sociales como técnicos, que emprendió la organización fueron acertados y contribuyeron en gran medida a la consecución de los objetivos *Lean*.

7.1.1.- Cambios en los Sistemas sociales

Tras la experiencia de la implantación de la filosofía en diferentes compañías y entornos productivos, y la variada documentación al respecto, es bien conocido que las razones que impiden la implantación de la filosofía *Lean Manufacturing* y sus herramientas son debidas en su 100% a factores humanos que están presentes en todo sistema, por lo que se puede afirmar que las personas conducirán al cambio cultural al éxito o al fracaso.



La Dirección de *John Deere*, conocedora de lo expuesto con anterioridad, tomó la decisión, a la postre acertada, de comenzar la implantación de la filosofía con un cambio en el Sistema social, pasando, como se vio en el apartado 2.3.1, del Sistema por incentivos al Trabajo en equipo. Este cambio sirvió como base a la implantación objetivo, al establecer importantes cambios culturales en la organización como la integración, desarrollo y formación del trabajador en la empresa y, principalmente, el trabajo en equipo.

Con la misma lógica, la Dirección también modificó el Sistema salarial con el objetivo de alinear los objetivos individuales y del equipo con los corporativos. Con este fin diseñó el Sistema salarial expuesto en el apartado 2.3.1, donde se establece que el salario constará de una parte fija y otra variable, dependiente, esta última, del rendimiento alcanzado por el equipo de trabajo.

La experiencia adquirida en *John Deere*, constata que toda propuesta de implantación de la metodología *Lean manufacturing* debe apoyarse en un Sistema de trabajo donde la responsabilidad del proceso caiga sobre el personal implicado, fomentando el trabajo en equipo y la participación y colaboración interdepartamental.

Resulta necesario mencionar que no se debe caer en el error de dar el *status* de inamovible al estado alcanzado. Mediante la Mejora Continua la organización debe cuestionarse toda situación y buscar la excelencia operativa. En este último sentido, y enfocando el razonamiento al estudio, aunque son innegables los resultados alcanzados por la organización con la implantación del Trabajo en equipo, se observaron ciertos comportamientos de resistencia al cambio del equipo de trabajo del *Crawler* en las reuniones a las que se asistió, ya que, antes incluso de plantear ideas o resultados, parte del personal implicado descartaba la posibilidad de producir el mando final en una nueva línea de montaje. Como prueba de lo anterior, destacar que la organización tomó la decisión de trasladar el proceso de montaje del *Crawler* a otra zona, pero manteniendo el proceso como era conocido.

Tener simplemente en consideración, por parte del equipo de trabajo, el estudio planteado, hubiera ayudado a dar a conocer al equipo, en primer lugar, y a toda la



organización, en segundo, que nada es inamovible con el nuevo enfoque y que para alcanzar la excelencia el cambio es imprescindible.

Si se va aún más lejos y se consideran los resultados, a priori, a obtener en la cultura de la organización tras la implantación de la línea propuesta, se encontrarán con mejoras en polivalencia, al fomentar la rotación entre puestos, y en flexibilidad, espacio y recursos, debido a la posibilidad de afrontar la fabricación de dos productos distintos en la misma línea.

7.1.2.- Cambios en los Sistemas productivos

Unido a los cambios culturales, vistos en el punto anterior, la organización inició una serie de transformaciones en los sistemas productivos propiamente dichos.

En el momento de la elaboración del presente estudio ya estaba implantada, como se adelantó en el apartado 2.2.3, la fabricación celular. Este sistema de organización del trabajo orientado al producto, fue una excelente base para comenzar con el cambio cultural que *Lean* implica. Aunque necesaria, la fabricación celular, hubiera resultado insuficiente, si la organización hubiera partido exclusivamente de ella para la implantación de otras herramientas más complejas. En los estadios iniciales de implantación de la metodología *Lean manufacturing*, como en el que *John Deere* se encontraba, es obligatoria la implantación de una de las herramientas *Lean a priori* más sencillas pero más potentes, respecto a implicación del personal y al cambio cultural: 5S's (apartado 3.4).

La Dirección, una vez más, con buen criterio, decidió implantar 5S's como herramienta inicial y como base, unida a la fabricación celular, de toda la metodología *Lean*. En el momento de la realización del presente estudio, incluso se participó, la implantación de 5S's se estaba llevando a cabo en varias células de forma pareja: eliminando lo inservible, ordenando todo el material, limpiando, estandarizando o formando al personal.

El proceso de implantación de 5S's en toda la organización permitió dar a conocer, de una forma, sencilla la metodología a todo el personal, enraizar la cultura del cambio en



la organización y posibilitar la implantación de otras herramientas más complejas, como por ejemplo *Kanban*, *VSM* que estaban implantadas o en proceso de implantación en algunas células de fabricación.

En el momento del estudio la compañía tenía un alto porcentaje de cumplimiento de implantación de 5S's lo que le permitiría, en un futuro cercano, comenzar con la implantación de herramientas más complejas como Seis Sigma (reducción de la variabilidad en los procesos) para, como fin último, el logro de la excelencia operativa mediante la mejora.

7.2.- Viabilidad de implantación del estudio en John Deere

Alcanzado este punto, resulta necesario estudiar, como se comentó al comienzo del capítulo, la viabilidad de la implantación del presente estudio en *John Deere*.

Inicialmente, comentar, que los objetivos del estudio están alineados con los de la organización, ya que ambos persiguen, en primer lugar, la eliminación del despilfarro en toda la organización y, en segundo lugar, la implantación de la cultura del cambio. Esta alineación en los objetivos, se une a que la base cultural y metodológica del estudio, *Lean manufacturing*, es bien conocida por todos los miembros de la organización, por lo que muchas de las herramientas propuestas están ya implantadas o son conocidas.

Otros aspectos que justifican la viabilidad de la implantación del estudio en la organización son:

- Recursos humanos. Como se reflejo en el apartado 6.9, la implantación de la línea diseñada, implica unos recursos humanos formados en la filosofía *Lean* y con la polivalencia necesaria que la rotación entre puestos que el estudio propone implica. El personal de la organización presenta estas características.
- El estudio propone profundos cambios en los procesos de montaje, pero mantiene los productos tal y como fueron diseñados. Esto aumentará la viabilidad de la implantación del nuevo proceso en la organización y fomentará



la participación y la mejora entre el personal implicado, ya que son ellos los que mejor conocen los productos.

- La implantación de la línea de modelo mixto propuesta, no supondría una gran inversión para la compañía, ya que la mayor parte de los equipos (maquinaria, herramientas, contenedores...) necesarios en la nueva línea de montaje, son los existentes en las actuales líneas de producción.

Por todo lo anteriormente comentado, unido a los cambios, sociales y productivos, apuntados en los apartados anteriores, se puede afirmar que el estudio planteado, es perfectamente viable en la organización.

7.3.- Beneficios de implantación

En lo que respecta a la aportación de la propuesta de nuevo diseño, su implantación dentro de *John Deere* ayudaría a asentar las herramientas ya implantadas en la organización (5S's, *Kanban*, Control Visual, Estandarización...) y serviría como fase inicial al lanzamiento de otras herramientas y conceptos *Lean*, principalmente a lo que el diseño de líneas de montaje de modelo mixto se refiere.

Unido a lo comentado con anterioridad se pueden aportar de datos objetivos que justifiquen, en general, el cambio cultural y, en particular, el diseño y la implantación de la línea de montaje.

Esta justificación se realizará, de una manera no formal, debido a que las mejoras que la correcta implantación del proceso productivo, tal y como se ha diseñado, puede aportar, se presentarán *a priori*, es decir, se comentarán y cuantificarán los beneficios a obtener tras la implantación, sin que esta se llegue realmente a producir.

La enumeración de los beneficios a obtener tras la implantación, se dividirán en dos grupos, los beneficios particulares, obtenidos en lo que respecta al montaje de los productos implicados y a las actividades directamente relacionadas, y los beneficios generales, que aparecen en toda la organización debido a las relaciones productivas existentes entre diferentes procesos.



7.3.1.- Beneficios particulares

Los beneficios particulares obtenidos tras la implantación del proceso productivo son, en su mayor parte, objetivos y cuantificables. Se pasa a enumerar los de mayor importancia, aunque son muchos los que aparecen tras la implantación.

- **Reducción del número de turnos.** En la actualidad en la línea de montaje encargada del *Crawler*, que es el único de los dos productos que se encuentra en producción, se trabaja a tres turnos de 8 horas. La línea mixta se ha diseñado para afrontar la consecución de la demanda mediante únicamente dos turnos. Esta modificación provocará una reducción de costes al eliminar el turno de noche, siempre más caro por razones de nocturnidad y una mejora de las condiciones laborales de los operarios, tras la eliminación del siempre conflictivo turno de noche.
- **Mejora de las condiciones laborales y ambiente de trabajo.** El sistema diseñado tiene en cuenta la ergonomía del personal y el ambiente de trabajo, que junto a la estandarización y la formación, harán el trabajo más sencillo y cómodo para el personal implicado, reduciendo el nivel de siniestralidad. La visibilidad, rotaciones y ayudas entre puestos colaboran, igualmente, a la mejora del ambiente y condiciones laborales.

De la misma forma, el sistema aprovecha al máximo la capacidad de las personas, teniendo en cuenta sus opiniones y sugerencias, e implicándolos totalmente en el montaje del producto.

- **Reducción del gasto en garantías.** Un proceso estandarizado, robusto y previsible, como el diseñado, unido a las mejoras puntuales para la reducción de defectos, mediante la Mejora continua, y la eliminación de toda posibilidad de error, reducirá y, como fin último, eliminará el gasto en garantías en que actualmente incurre la compañía (punto 4.2.2.3).
- **Reducción del número de averías.** La implantación del diseño, junto a la adopción de un programa *TPM*, reducirá el coste derivado de la aparición de



averías (coste de reparación, coste de piezas no conformes, coste de incumpliendo de la demanda...).

- **Reducción del nivel de inventario.** La implantación objeto, reducirá el nivel de inventario tanto en espera como en proceso (*WIP*) y las posibilidad de rotura, y toda la gran cantidad de gastos relacionados (coste de almacenaje, coste directo de compra, coste de obsolescencia...).
- **Cumplimiento de la demanda.** El sistema está diseñado para cumplir con la demanda de forma nivelada, y para responder con garantía a las variaciones y fluctuaciones que sufre en el tiempo.
- **Descenso del tiempo de operación.** El diseño del *lay-out* propuesto implicará un acercamiento de los puestos de trabajo y del material, lo que supondrá un descenso considerable del tiempo de operación empleado en el transporte y movimiento de materiales.

7.3.2.- Beneficios generales

Aunque de naturalezas más subjetiva que los anteriores, su importancia es radical en la supervivencia de la organización.

- **Cambio cultural.** La implantación con éxito de la línea, allanará el camino para el cambio cultural necesario en toda la organización y facilitará el desarrollo de las técnicas y herramientas *Lean* tratadas, en otras áreas organizativas y productivas. Su funcionamiento puede ser fijado como estándar o “mejor práctica” para otras áreas.
- **Sinergias.** El logro de objetivos concretos en un área determinada en la organización, como es el caso de la línea objeto, provocará beneficios en toda la compañía. Las mejoras en el aprovisionamiento de la línea, por ejemplo, harán más sencillo y previsibles el trabajo del departamento de compras, que hará suyos los beneficios obtenidos.



7.4.- Líneas futuras de estudio

Los futuros estudios que se pueden desarrollar en la organización a partir del presente, deben ir encaminados a la búsqueda de aquellos productos factibles de ser fabricados en nuevas líneas de modelo mixto.

Junto con la anterior propuesta, se deben dirigir los esfuerzos futuros a la implantación de herramientas *Lean* no tratadas en profundidad en el documento ni 100% implantadas en la organización, como pueden ser *VSM*, *SMED*, Control Visual.

Mención especial requiere una filosofía que comienzan a implantar las compañías líderes españolas, siguiendo el concepto de las “mejores prácticas”: *Six Sigma*. *Six Sigma* y *Lean Manufacturing* se complementan mutuamente, y ambas son necesarias para alcanzar la excelencia en el negocio y el liderazgo en el sector. Igual que, como ya es conocido, *Lean* se centra en la eliminación de todo despilfarro, *Six Sigma* centra su estudio en la reducción de toda variabilidad existente en el proceso. Ambas herramientas constituyen la base tanto del proceso de Mejora Continua como del ya comentado (apartado 2.3.2) *Deere Production System*.



Bibliografía

- Black, J. Temple. **Lean manufacturing Systems and cell design**. Society of manufacturing engineers. 2.003
- Dailey, Kenneth W. **The lean manufacturing employee training manual: JIT, the value stream, seven wastes and fourteen techniques of lean manufacturing**. DW Publishing. 2.004
- Delbridge, Rick. **Life on the line in contemporary manufacturing: the workplace experience of lean production and “Japanese” model**. University press. 2.000
- Ono, Taiichi. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Productivity press. 1.988
- Prida Romero, Bernardo. **Apuntes Complejos industriales**. Universidad Carlos III de Madrid. 2.000
- Prieto Corcoba, Mariano. **6 sigma. Qué es y cómo aplicarlo a la empresa española**. Asociación española para la calidad. 2.006
- Shingo, Shigeo. **El sistema de producción Toyota desde el punto de vista de la ingeniería**. Tecnologías de gerencia y producción. 1.993

**Anexo I. Modelo de puntuación auditoría 5S's**

Anexo I. Tabla 1.- Modelo de puntuación auditoría 5S's

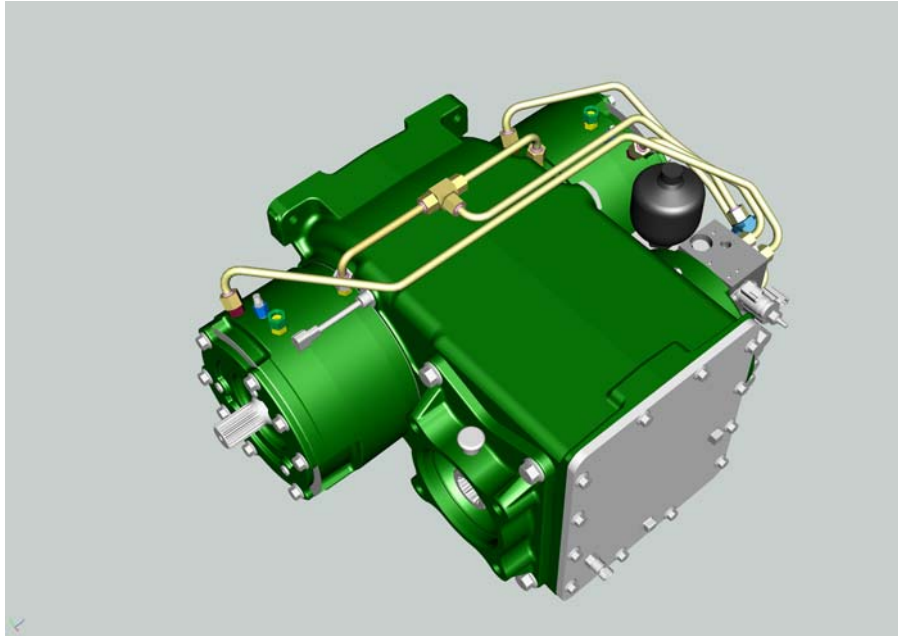
5S's		100%	75%	50%	25%
Organización Seiri	Parámetro a Evaluar				
	¿Han sido retirados todos los artículos innecesarios?	10	7,5	4	0
	Existen artículos innecesarios en la célula en numero de:	0	3	5	Más de 5
	¿Existen artículos que parezcan están revueltos en el puesto de Trabajo?	10	7,5	4	0
	Existen artículos que parezcan estar revueltos en numero de:	0	3	5	Más de 5
	¿Existen información desactualizada de procedimientos de trabajo?	10	7,5	4	0
	Existen procedimientos desactualizados en numero de:	0	Menos de 3	Menos de 5	Más de 5
	¿Existe un calculo de IPK's y esta señalado?				
	¿Se cumple?	10	7,5	4	0
Total puntos Máx. 40		0	0%		
Seiton	¿Existe un lugar específico para cada cosa? Localizaciones	10	7,5	4	0
	Cosas sin lugar específico	0	3	5	Más de 5
	¿Están todos los artículos y localizaciones identificados y fácilmente detectables?	10	7,5	4	0
	Artículos sin identificar	0	3	5	Más de 5
	¿El sistema de reposición de piezas es fácilmente localizable en los lotes de piezas?	10	7,5	4	0
Orden	Piezas que no sean fácilmente localizables.	0	3	5	Más de 5
	¿Se colocan los artículos en su lugar después de utilizarse? (Ver al final de turno)	10	7,5	4	0
	Artículos fuera de lugar	0	3	5	Más de 5
	¿Contienen los paneles toda la información demandada y esta actualizada?	10	7,5	4	0
Total puntos Máx. 50		0	Información incorrecta	Falta Info.	No hay panel
		0	0%		



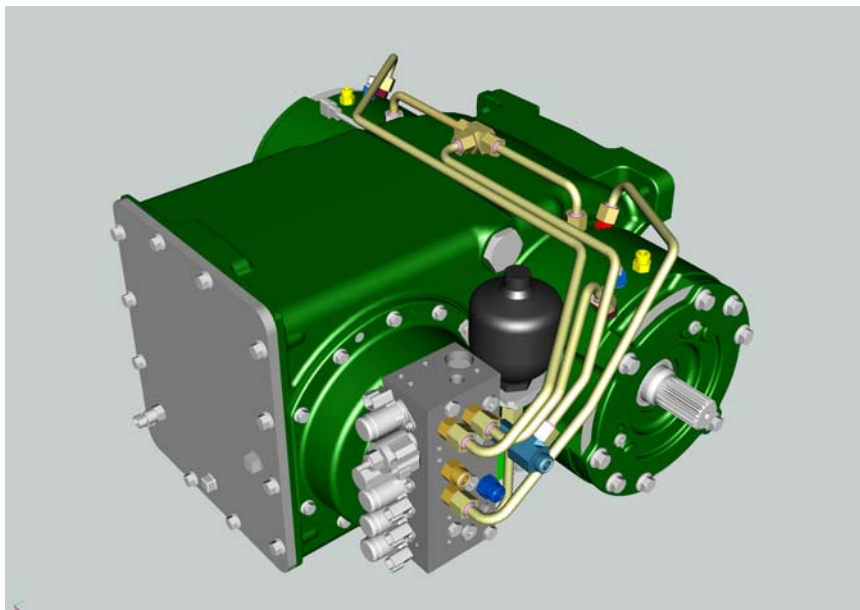
Anexos

Seiso	¿El área y los equipos de trabajo están Limpios?	10	7,5	4	0
	¿Existen recipientes para alojar los distintos tipos de desechos en el puesto de trabajo?	10	7,5	4	0
Limpieza		Hay todo lo que se necesita	Falta un contenedor específico	Faltan varios	No existe
	¿Están los pasillos señalizados, limpios y visibles?	10	7,5	4	0
	Limpio, Visible y Señalizado	Pasillo señalizado limpio y visible	Se cumple dos de 3	Se cumple 1 de 3	No se cumplen
	¿Existe un equipo de limpieza en el lugar de Trabajo y se utiliza regularmente?	10	7,5	4	0
	No es imprescindible que haya un armario de limpieza, si existe un lugar identificado donde dejar los equipos de limpieza	Existe el equipo y se utiliza con ubicación	Existe equipo, se utiliza sin ubicación	Existe y no se utiliza	No existe
Total puntos Máx. 40					0%
Calificación Final				0	0%

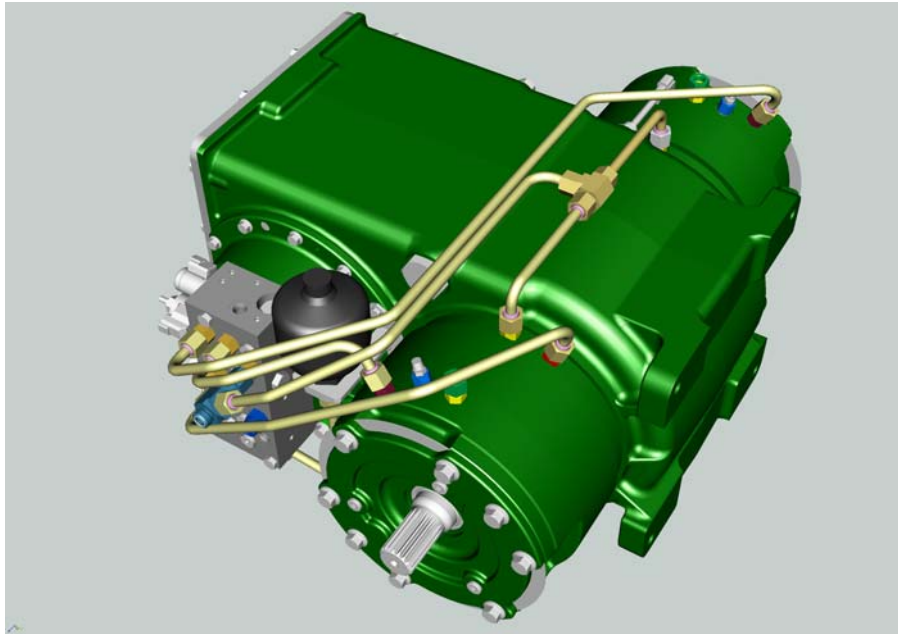
Anexo II.-Figuras descriptivas *Prodrive*



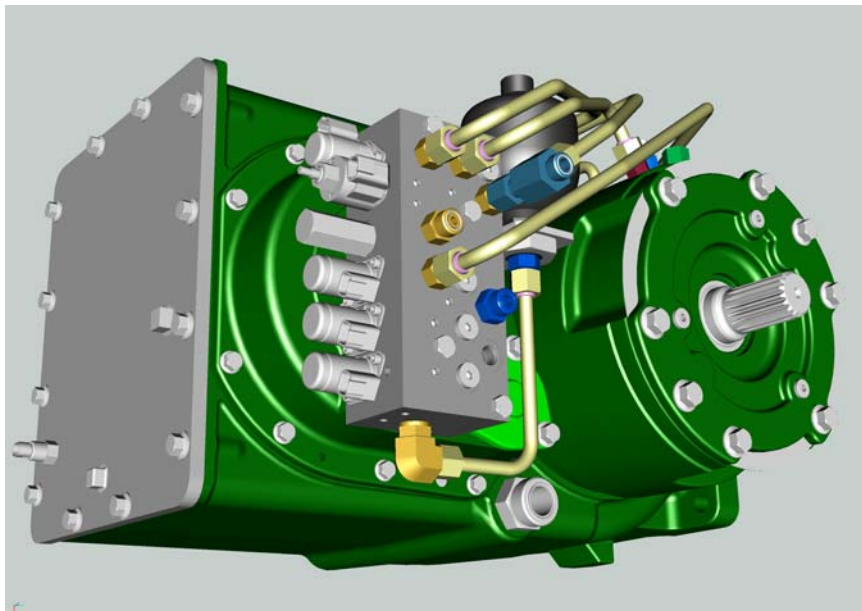
Anexo II. Figura 1. Caja de cambios *Prodrive*



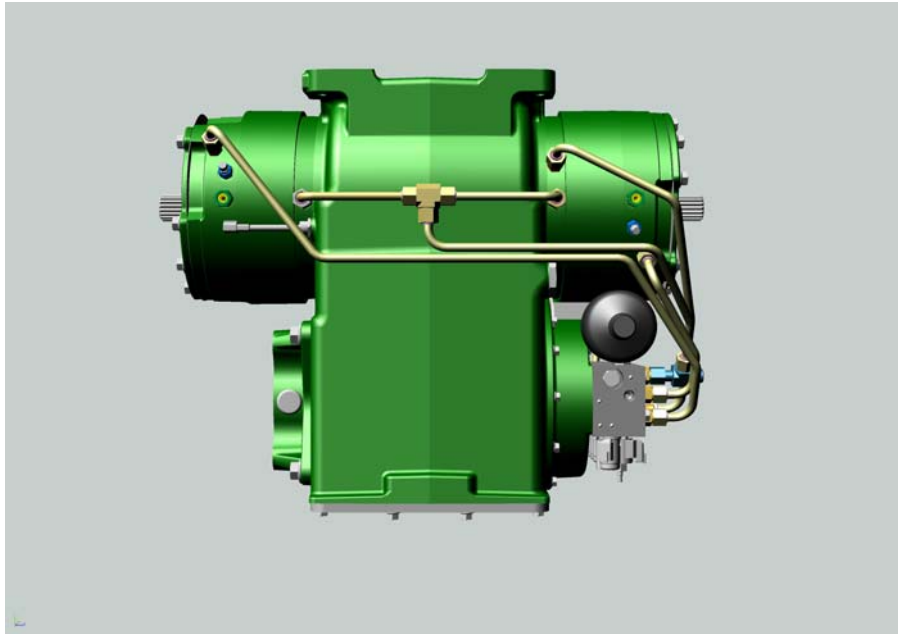
Anexo II. Figura 2. Caja de cambios *Prodrive*



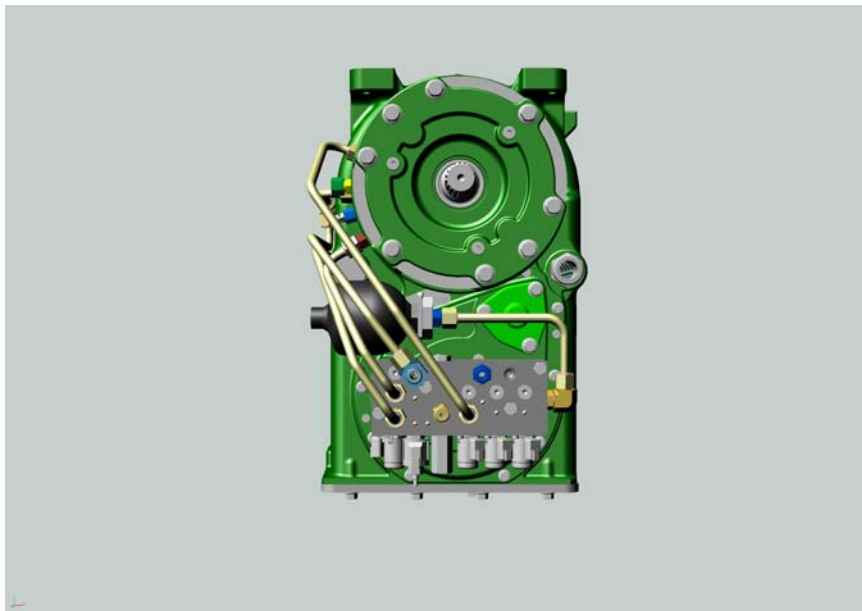
Anexo II. Figura 3. Caja de cambios *Prodrive*



Anexo II. Figura 4. Caja de cambios *Prodrive*

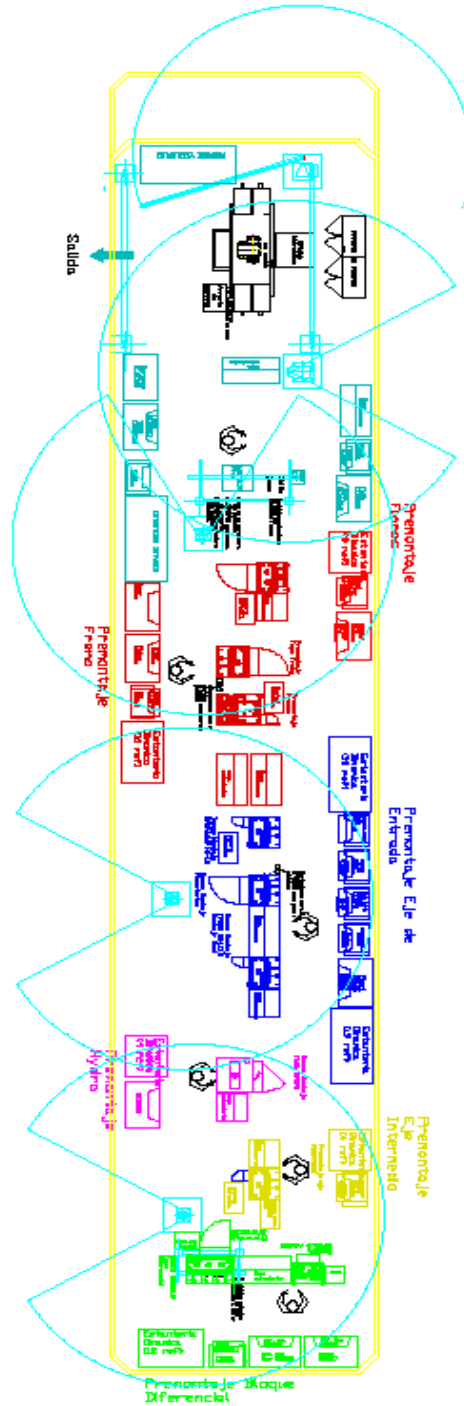


Anexo II. Figura 5. Caja de cambios *Prodrive*



Anexo II. Figura 6. Caja de cambios *Prodrive*

Anexo III.- Lay out actual *Prodrive*



Anexo III. Figura 1.- Lay out actual caja de cambios *Prodrive*



Anexo IV.- Secuencia de eventos *Prodrive*

1.- Lavado de piezas

- 1.- Lavado de piezas. Coger piezas PREMONTAJE DIFERENCIAL: planetarios R136303, R136302, satélites M378786 (x4), tapa R131177, placas separadoras R78156 (x4) y con gancho y polipasto carcasa CE19106 (dar la vuelta si fuera necesario). Situar en carro
- 2.- Meter piezas anteriores en lavadora
- 3.- Finalizado el lavado sacar piezas anteriores y soplarlas. Colocar en carro
- 4.- Coger piezas PREMONTAJE EJE DE ENTRADA: CE19110, CE19332, CE19429 (x3), CE19159, CE19135, CE19624, CE19143, CE191433, CE19330, R64197 (x7)
- 5.- Meter piezas anteriores en lavadora
- 6.- Finalizado el lavado sacar piezas anteriores y soplarlas. Colocar en carro
- 7.- Coger piezas PREMONTAJE FRENO: carcasa de freno CE19176, con polipasto y gancho, eje CE19338, tubo CE19142, pistones CE19178 y CE19179, tapa CE19177, discos CE19541 (x3) y platos CE19154 (x2) y situar en carro
- 8.- Meter piezas anteriores en lavadora
- 9.- Finalizado el lavado sacar piezas anteriores y soplarlas. Colocar en carro
- 10.- Coger piezas MONTAJE FINAL Y PREMONTAJE FLORES E HYDRO: CE18969, CE19191, CE19190, CE19160 y situar en carro
- 11.- Con gancho y polipasto coger carcasa CE19422
- 12.- Introducir piezas anteriores en lavadora
- 13.- Una vez finalizado el lavado sacar piezas con carro

2.- Montaje diferencial

- 1.- Preparar Kit de montaje: RE239643 (x4), R78156 (x4), R93623 (x2), R162100 (x4), JD8290 (x1), JD8210 (x1), CE18973 (x2), CE19046 (x2), R131214 (x4), M378786 (x4)
- 2.- Con gancho y polipasto coger carcasa CE19106 y situar sobre útil fijo en prensa.
- 3.- Retirar gancho y polipasto



- 4.- Montar juntas R93623 (x2) en planetarios R136303 y R136302 (una en cada planetario)
- 5.- Colocar planetarios R136303 en carcasa CE19106 en posición
- 6.- Montar bulones esclavo (x4) en dispositivo máquina montadora de agujas. Uno para cada satélite
- 7.- Colocar satélite M378786 en bulón esclavo en posición
- 8.- Activar máquina para posicionar agujas R68171 (x21) en satélites
- 9.- Con útil comprobar que no falta ninguna aguja R68171 en cada satélite M378786 (x4)
- 10.- Colocar arandelas R131214 (x4) en satélites. Una en cada satélite
- 11.- Engrasar satélites M378786 (x4). Útil brocha
- 12.- Colocar arandelas R162100 (x4) en superficie engrasada de satélites M378786. Una en cada satélite
- 13.- Engrasar alojamiento de satélites en carcasa. Útil brocha
- 14.- Coger eje CE18972 y bulones CE18973 (x2). Retirar fundas protectoras
- 15.- Colocar satélite M378786 en posición en carcasa
- 16.- Colocar eje CE18972 en su alojamiento hasta sacar bulón esclavo del satélite ya situado
- 17.- Colocar otro satélite M378786 en posición opuesta, terminando de introducir el eje. Sacar bulón esclavo del satélite
- 18.- Colocar otro satélite en posición e introducir bulón CE18973 centrado con el eje. Sacar bulón esclavo del satélite
- 19.- Colocar último satélite en posición opuesta al anterior. Introducir bulón CE18973 centrado con el eje. Sacar bulón esclavo del satélite
- 20.- Comprobar giro satélites M378786
- 21.- Coger planetario R136302 con junta y acoplar sobre los satélites M378786
- 22.- Coger placas separadoras R78156 (x4) y ferodos RE239643 (x4)
- 23.- Colocar placas separadoras R78156 (x4) y ferodos RE239643 (x4) de forma alterna comenzando con un ferodo
- 24.- Coger pista JD8290 y colocar en posición en útil fijo de prensa



- 25.- Coger tapa R131177 y colocar sobre pista JD8290
- 26.- Coger útil F-67-10-17135 sobre tapa R131177
- 27.- Coger útil F-67-10-17136 y colocar en tapa R131177
- 28.- Coger pistón diferencial R180260 y engrasar. Situar sobre útil F-67-10-17136
- 29.- Colocar útil F-67-10-17137 coronando el conjunto tapa R131177
- 30.- Accionar prensa
- 31.- Retirar útiles anteriores y limpiar
- 32.- Colocar guías (x2) en posición en carcasa
- 33.- Montar conjunto tapa R131177 sobre carcasa CE19106. Útil martillo
- 34.- Retirar guías (x2)
- 35.- Coger tornillos 19M9070 (x10) y apuntar en carcasa CE19106
- 36.- Apretar tornillos 19M9070 (x10). Útil pistola neumática
- 37.- Pintar un tornillo de verde
- 38.- Apriete a 140Nm tornillos 19M9070 (x10). Útil llave
- 39.- Con gancho especial y polipasto girar conjunto carcasa CE19106 180°. Situar en útil de prensa
- 40.- Retirar gancho especial y polipasto
- 41.- Coger guías CE19046 (x2) y colocar manualmente en bulón CE18973 para fijar su posición
- 42.- Engrasar con aceite carcasa en alojamiento pista JD8210
- 43.- Colocar pista JD8210 en su alojamiento
- 44.- Colocar buterola F-67-10-17138 en posición sobre pista JD8210
- 45.- Accionar prensa
- 46.- Retirar buterola F-67-10-17138
- 47.- Coger corona CE19112 con gancho y polipasto acoplándola en carcasa CE19106



- 48.- Poner útil en carcasa para evitar que se cuelen las arandelas en el interior del conjunto
- 49.- Colocar arandelas R135543 (x14) en posición en conjunto
- 50.- Colocar tornillos R112888 (x14) en posición marcada por arandelas R135543
- 51.- Apretar tornillos R112888 (x14).Útil pistola neumática
- 52.- Retirar útil para evitar caída arandelas
- 53.- Pintar un tornillo para fijar su posición
- 54.- Colocar útil para evitar giro diferencial durante el apriete
- 55.- Apriete 310Nm. Útil llave dinamométrica
- 56.- Retirar útil para evitar giro diferencial
- 57.- Con gancho y polipasto retirar diferencial

3.- Premontaje carcasa soporte eje de entrada CE 19160(hydro)

- 1.- Coger hydro CE19160 con polipasto y gancho y situar en mesa. Soplar
- 2.- Con polipasto y gancho situar hydro CE19160 en prensa
- 3.- Colocar pista JD7293 en posición en hydro en dispensador automático
- 4.- Accionar prensa. Modo
- 5.- Con polipasto y gancho retirar hydro CE19160

4.- Premontaje conjunto eje de entrada

- 1.- Preparar kit de montaje
- 2.- Montar pieza CE19143 sobre útil fijo en prensa y CE19135 sobre la anterior en posición
- 3.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 en tornillos 19M7931 (x6)
- 4.- Apuntar tornillos 19M7931 (x6) para fijar pieza CE19135 en CE19143. Útil pistola neumática
- 5.- Pintar un tornillo de verde para conocer posición
- 6.- Apriete 30Nm. Útil llave



- 7.- Montar retén R39304 en posición a mano
- 8.- Introducir guías (x3) 44M7111 en posición. Útil buterola F-67-10-17141
- 9.- Soplar con manguera
- 10.- Girar carcasa 180°
- 11.- Montar segmentos (x2) CE19267 en posición a mano
- 12.- Retirar conjunto de banco prensa
- 13.- Aplicar activador 7649 y Loctite 638 sobre arandela R76308
- 14.- Aplicar Loctite 638 sobre carcasa CE19135
- 15.- Montar arandela R76308 en carcasa CE19135 y poner peso encima para favorecer el pegado
- 16.- Retirar útil del carro de prensa
- 17.- Colocar nuevo útil F-67-10-17139 en el carro de prensa
- 18.- Montar chaveta 26M7001 en eje CE19330. Útil martillo
- 19.- Colocar piñón CE19110 en útil F-67-10-17139
- 20.- Colocar eje CE19330 con chaveta sobre piñón. Útil martillo
- 21.- Meter carro y utilizar la prensa en modo MANUAL de forma lenta
- 22.- Sacar carro y retirar eje CE19330
- 23.- Retirar útil F-67-10-17139 y colocar nuevo útil F-67-10-17140
- 24.- Colocar rodamiento JD8947 en útil F-67-10-17140
- 25.- Colocar carcasa CE19624 en útil F-67-10-17140 en prensa en posición
- 26.- Colocar arandela R36308 en posición
- 27.- Colocar retén L62161 en útil F-67-10-17142. Colocar útil F-67-10-17143 en posición
- 28.- Montar retén L62161 en carcasa ayudándonos de los útiles F-67-10-17142 y F-67-10-17143
- 29.- Retirar útiles F-67-10-17142 y F-67-10-17143
- 30.- Montar en posición a mano retén L62272 en pistón CE19159



- 31.- Engrasar retenes L62161 y L62272 montados anteriormente
- 32.- Colocar pistón CE19159 en posición
- 33.- Colocar buterola F-67-10-17144 sobre pistón CE19159
- 34.- Accionar prensa. Modo automático
- 35.- Retirar útil F-67-10-17144
- 36.- Montar arandelas de muelle (x5) CE19164 contrapeadas en pistón CE19159
- 37.- Montar arandela CE19169 y anillo elástico L33165 en carcasa
- 38.- Colocar útil F-67-10-17146 sobre arandela CE19169
- 39.- Montar anillo elástico sobre útil F-67-10-17146
- 40.- Montar útil F-67-17145 sobre anillo L33165
- 41.- Accionar prensa. Modo automático
- 42.- Retirar útiles F-67-10-17145 y F-67-10-17146 y comprobar el correcto montaje
- 43.- Montar útil F-67-10-17147 en carcasa
- 44.- Colocar rodamiento DE19539 sobre útil F-67-10-17147
- 45.- Montar nuevo útil F-67-10-17148 sobre rodamiento DE19539
- 46.- Accionar prensa. Modo auto
- 47.- Retirar útiles F-67-10-17147 y F-67-10-17148
- 48.- Colocar arandelas (x8) CE19012 y ferodos (x8) AL38238 alternativamente en carcasa en posición
- 49.- Colocar arandela CE19625 en carcasa
- 50.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 sobre tornillos 19M7867 (x6)
- 51.- Montar tornillos 19M7867 en carcasa. Útil pistola neumática
- 52.- Pintar un tornillo de verde para conocer posición
- 53.- Apriete 35Nm. Útil llave dinamométrica
- 54.-Retirar peso carcasa CE19135 y limpiar exceso de Loctite



- 55.- Engrasar segmentos CE19267 (x2) y alojamiento en carcasa
- 56.- Montar conjunto carcasa CE19135 sobre conjunto carcasa CE19624
- 57.- MONTAJE EMBRAGUE HI-LO
- 58.- Montar segmento R39280 en pistón R39285
- 59.- Engrasar segmento R39280 y alojamiento en carcasa
- 60.- Colocar útiles F-67-10-17150 y F-67-10-17152
- 61.- Colocar pistón R39285 sobre útiles F-67-10-17150 y F-67-10-17152
- 62.- Colocar útil F-67-10-17151 sobre pistón R39285. Útil martillo
- 63.- Retirar y limpiar útiles F-67-10-17150, F-67-10-17151 y F-67-10-17152
- 64.- Montar arandelas CE19156 (x4) contrapeadas sobre pistón R39285
- 65.- Montar anillo CE19168 en pistón R39285
- 66.- Montar útiles F-67-10-17153 y F-67-10-17154 en carcasa
- 67.- Colocar anillo R39299 sobre útiles F-67-10-17153, F-67-10-17154 en posición
- 68.- Montar útil F-67-10-17155 sobre anillo R39299
- 69.- Accionar prensa. Modo auto
- 70.- Retirar útiles F-67-10-17153, F-67-10-17154 y F-67-10-17155 y comprobar correcto montaje del anillo elástico
- 71.- Montar eje premontado CE19330 en conjunto
- 72.- Accionar prensa. Modo auto
- 73.- Montar de forma alternativa arandelas R64197 (x7) y ferodos DE19595 (x6) en eje CE19330
- 74.- SISTEMA PLANETARIO EJE DE ENTRADA
- 75.- Colocar transportador CE19433 en prensa
- 76.- Colocar casquillo CE19216 en transportador CE19433
- 77.- Colocar útil F-67-10-17156 sobre casquillo CE19216
- 78.- Accionar prensa. Modo auto



- 79.- Retirar conjunto transportador CE19433 del banco de prensa
- 80.- Colocar bulones CE19020 (x3) en transportador CE19433 para comprobar correcta posición
- 81.- Colocar arandelas AR253237 (x3) en mesa montaje
- 82.- Colocar piñones CE19429 (x3) en cada arandela AR253237
- 83.- Colocar rodamientos CE19540 (x3) sobre piñones CE19429
- 84.- Colocar separadores CE19023 (x3) en piñones CE19429
- 85.- Colocar rodamientos CE19540 (x3) sobre separadores CE19023
- 86.- Colocar arandelas AR253237 (x3) sobre conjunto anterior
- 87.- Coger conjunto piñones (x3) y montar en transportador en posición. Alinear con útil F-67-1017171
- 88.- Introducir bulones CE19020 (x3) en conjunto piñones
- 89.- Golpear con útil y martillo para fijar posición bulones. Granetes
- 90.- Girar transportador CE19433 y situar correctamente conjunto piñones en posición
- 91.- Con gancho y polipasto situar útil F-67-10-17157 en conjunto transportador CE19433 y piñones CE19429 para su transporte
- 92.- Con útil y polipasto situar transportador en eje CE19330 haciendo coincidir marcas (x3)
- 93.- Comprobar correcto engrane del piñón CE19332
- 94.- Comprobar posición bulones CE19020 (x3). Útil destornillador
- 95.- Girar transportador hasta correcta posición. Golpear hasta correcto acople. Útil martillo
- 96.- Aplicar activador 7640 y Loctite 270 a tornillos 19M8006 (x6)
- 97.- Apretar tornillos 19M8006. Útil pistola neumática
- 98.- Pintar un tornillo de verde
- 99.- Apriete 35Nm. Útil llave dinamométrica
- 100.-Aplicar activador 7640 y Loctite 270 a piñón CE19332 y arandela R76308



- 101.- Montar arandela R76308 en piñón CE19332. Fijar con peso
- 102.- Colocar conjunto piñón CE19332 en prensa
- 103.- Introducir rodamiento AZ62417 en piñón
- 104.- Colocar útil F-67-10-17158 en rodamiento AZ62417
- 105.- Accionar prensa. Modo auto
- 106.- Retirar útil F-67-10-17158
- 107.- Montar anillo elástico 40M7103 en piñón CE19332 golpeando con útil F-67-10-17158
- 108.- Colocar separadores (x2) sobre transportador
- 109.- Colocar piñón CE19332 en eje CE19330 en posición
- 110.- Colocar rodamiento DE19528 en piñón CE19332 en posición
- 111.- Colocar útil F-67-10-17159 sobre rodamiento DE19528
- 112.- Accionar prensa. Modo auto
- 113.- Retirar útil F-67-10-17159
- 114.- Colocar anillo elástico 40M7230 en piñón CE19332. Útil alicates de punta
- 115.- Retirar separadores del transportador.
- 116.- Colocar suplemento CE19027 en eje CE19330
- 117.- Colocar rodamiento JD8986 en eje CE19330
- 118.- Colocar útil F-67-10-17160 en eje CE 19330 en posición
- 119.- Accionar prensa. Modo auto
- 120.- Retirar útil F-67-10-17160
- 121.- Con gancho y polipasto retirar premontaje eje de entrada

5.- Premontaje freno

- 1.- Preparar kit de montaje
- 2.-Introducir casquillo CE19608 en horno a 150°



- 3.- Posicionar carcasa CE19176 en banco prensa con polipasto gancho y fijar con tornillo de sujeción y garras (x4)
- 4.- Voltar carcasa CE19176 con volante
- 5.- Montar conjunto retén DE19634 en carcasa CE19176
- 6.- Engrasar retén DE19634
- 7.- Montar conjunto retén DE19688 en carcasa CE19176
- 8.- Engrasar retén DE19688
- 9.- Voltar carcasa CE19176 y retirar garras (x4)
- 10.- Colocar útil F-67-10-17161 sobre carcasa CE19176
- 11.- Colocar pistón CE19178 sobre útil F-67-10-17161
- 12.- Colocar útil F-67-10-17162 sobre pistón CE19178
- 13.- Colocar conjunto retén DE19633 sobre útil F-67-10-17162
- 14.- Colocar útiles F-67-10-17163 y F-67-10-17164 sobre todo el conjunto anterior
- 15.- Golpear conjunto útiles F-67-10-17163 y F-67-10-17164 para situar retén DE19633 en posición. Útil maza
- 16.- Retirar útiles anteriores y pistón CE19178
- 17.- Montar dos guías 44M7111 en pistón CE19178. Útil F-67-10-17165 y maza
- 18.- Engrasar retén DE19633 y contorno pistón CE19178
- 19.- Colocar pistón CE19178 y útil F-67-10-17161 en carcasa
- 20.- Accionar prensa. Modo auto
- 21.- Retirar útil F-67-10-17161 y limpiar
- 22.- Colocar arandelas de muelle CE18998 (x6) contrapeadas en pistón CE19178
- 23.- Situar junta CE19155 sobre carcasa en posición
- 24.- Situar rodamiento DE19742 sobre útil prensa
- 25.- Situar tapa CE19177 sobre rodamiento DE19742 en posición



- 26.- Colocar útil F-67-10-17166 sobre tapa CE19177
- 27.- Accionar prensa. Modo auto
- 28.- Retirar útil F-67-10-17166
- 29.- Girar tapa CE19177
- 30.- Situar anillo elástico 49M1871 en tapa CE19177. Útil alicates de punta
- 31.- Situar tapa premontada CE19177 en carcasa
- 32.- Colocar guías (x2) en la tapa
- 33.- Enroscar tuercas 14M7296 (x3) en tornillos 19M7384 (x3). A mano
- 34.- Colocar conjunto tuercas 14M7296 y tornillos 19M7384 en la tapa CE19177
- 35.- Colocar útil F-67-10-17167 sobre tapa CE19177
- 36.- Accionar prensa. Modo auto
- 37.- Apretar tuercas 14M7296 (x3). A mano
- 38.- Retirar guías (x2)
- 39.- Colocar tornillos 19M7789 (x2) en freno en posición. Útil pistola neumática
- 40.- Retirar útil F-67-10-17167
- 41.- Colocar garras (x4) y voltear carro prensa
- 42.- Colocar retén DE19634 en pistón DE19179
- 43.- Engrasar retén DE19634
- 44.- Colocar conjunto retén DE19634, pistón DE19179 en carcasa. Útil martillo
- 45.- Acoplar útiles F-67-10-17167 y F-67-10-17168 sobre pistón DE19179
- 46.- Accionar prensa. Modo auto
- 47.- Apretar tuercas 14M7296 de tornillos 19M7384
- 48.- Retirar útiles F-67-10-17167 y F-67-10-17168
- 49.- Colocar plato CE19154 sobre carcasa CE19176



- 50.- Colocar tubo CE19142, realizar 2 marcas con rotulador para favorecer montaje
- 51.- Colocar ferodos DE19541 (x4) y platos CE18997 (x3) alternados
- 52.- Con varilla comprobar alineación ferodos DE19541
- 53.- Colocar muelles CE19166 (x3) en carcasa CE19176
- 54.- Colocar plato CE19154 en freno en posición
- 55.- Colocar guías (x3) en freno
- 56.- Colocar guías (x2) entre carcasa CE19176 y disco CE19541
- 57.- Colocar F-67-10-17169 y accionar prensa
- 58.- Retirar guías
- 59.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 a tornillos CE19167 (x3) y situar en posición
- 60.- Apretar tornillos CE19167. Útil pistola neumática
- 61.- Apriete a 250Nm
- 62.- Retirar útil F-67-10-17169
- 63.- Colocar suplemento CE19343 en posición en freno
- 64.- Colocar eje CE19338 en posición en freno
- 65.- Accionar prensa. Modo auto
- 66.- Voltar carro y quitar garras
- 67.- Colocar útil F-67-10-17170 por debajo del eje en posición
- 68.- Sacar casquillo CE19608 del horno. Útil guantes ignífugos
- 69.- Colocar casquillo CE19608 en eje CE19338
- 70.- Colocar útil F-67-10-17111
- 71.- Accionar prensa. Modo auto
- 72.- Engrasar retén AZ42575
- 73.- Situar retén AZ42575 en eje de freno



- 74.- Colocar útil F-67-10-17090
- 75.- Accionar prensa
- 76.- Retirar útil F-67-10-17090
- 77.- Girar banco y retirar útil F-67-10-17170
- 78.- Montar garras (x4) y comprobar el giro del eje de freno
- 79.- Girar carro y liberar montaje (garras y tornillo de sujeción)
- 80.- Con gancho y polipasto retirar freno

6.- Premontaje eje intermedio

- 1.- Enfriar ejes CE19207 en cámara frigorífica
- 2.- Calentar piñón CE19003 en horno. Al retirar piñón CE19003 útil guantes ignífugos
- 3.- Colocar eje CE19207 en útil de prensa
- 4.- Montar chaveta 49M7014 en eje CE19207
- 5.- Colocar piñón CE19003 en eje CE19207 en posición
- 6.- Accionar prensa. Útil buterola F-67-10-17172
- 7.- Montar anillo 41M7166. Útil alicates de punta
- 8.- Situar rodamiento JD8123 en prensa
- 9.- Colocar conjunto eje CE19207 encima rodamiento JD8123
- 10.- Colocar útil F-67-10-17173 sobre eje CE19207
- 11.- Situar rodamiento JD8979 en eje CE19207
- 12.- Colocar útil F-67-10-17174 coronando el conjunto
- 13.- Accionar prensa. Modo auto
- 14.- Retirar montaje

7.- Premontaje transportadores lado corona y diferencial (flores)

- 1.- Preparar Kit de montaje: R77254 (x2), R39322 (x2), 15H558 (x1), R77254 (x2)



- 2.- Colocar rodamiento JD8191 en prensa (izquierda)
- 3.- Colocar flor CE19190 sobre rodamiento en prensa (izquierda) con polipasto
- 4.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 en tapón 15H558
- 5.- Montar tapón 15H558 en posición en flor CE19190. Útil llave hexagonal
- 6.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 a engrasadores (x2) R77254
- 7.- Montar en flor CE19190. Útil llave hexagonal
- 8.- Limpiar y soplar orificios engrasadores R77254 con manguera de aire
- 9.- Colocar rodamiento JD8159 en prensa (derecha)
- 10.- Colocar flor CE19191 sobre rodamiento JD8159 en prensa (derecha) con polipasto
- 11.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 a engrasadores (x2) R77254
- 12.- Montar en flor CE19191. Útil llave hexagonal
- 13.- Limpiar y soplar orificios engrasadores R77254 con manguera de aire
- 14.- Montar anillo tórico R57050 (x2) a mano. Uno en cada flor
- 15.- Accionar prensa
- 16.- Coger flor CE19191 con polipasto y retirar
- 17.- Coger flor CE19190 y girarla 180°
- 18.- Colocar segmentos R39322 (x2) a mano en flor CE19190
- 19.- Coger flor CE19190 con polipasto y retirar

8.- Montaje final

- 1.- Preparar Kit de montaje: H110539 (x1), 44M7103 (x1), CE19162 (x2), 19M8274 (x4), Z74457 (x6), JD8267 (x1), JD8257 (x1), DE19537 (x1), R33248 (x1), R98502 (x1), R53543 (x1), Z48079 (x1), R26286 (x4), 19M8963 (x6), DE19620 (x1)
- 2.- Poner banco en posición
- 3.- Con gancho y polipasto situar carcasa CE19422 en banco en posición
- 4.- Enroscar tornillos (x4) con tuercas (x4) para fijar carcasa a banco. Útil llave



- 5.- Retirar polipasto y gancho
- 6.- Girar carcasa CE19422 para comprobar alojamiento filtro aceite 61H1165
- 7.- Engrasar alojamiento pista JD7442
- 8.- Montar pista JD7442 en carcasa CE19422 con buterola F-67-10-17175 y maza F-67-10-17176
- 9.- Girar banco 90°
- 10.- Con gancho y polipasto situar premontaje diferencial en carcasa
- 11.- Retirar gancho y polipasto
- 12.- Colocar protector diferencial DE19618 en posición
- 13.- Colocar protector eje intermedio DE19898 en premontaje eje intermedio
- 14.- Montar conjunto anterior en carcasa
- 15.- Girar banco 90°
- 16.- Posicionar correctamente eje intermedio y diferencial a mano
- 17.- Enroscar en carcasa guías (x2) para acoplar flor CE 19190
- 18.- Colocar en alojamiento flor suplemento de plástico CE18970
- 19.- Colocar cáncamos (x2) en flor CE19190
- 20.- Con gancho y polipasto coger flor CE19190
- 21.- Engrasar segmento flor CE19190 y acoplamiento en carcasa CE19422
- 22.- Colocar flor CE19190 en posición en carcasa CE19422
- 23.- Con ayuda del eje de freno colocar diferencial en posición correcta
- 24.- Retirar eje, gancho, cáncamos (x2) y polipasto
- 25.- Colocar cáncamos (x2) en flor CE19191
- 26.- Retirar guías carcasa (x2)
- 27.- Colocar tornillos 19M8208 (x6) en posición para fijar flor CE19190. Útil pistola neumática
- 28.- Pintar un tornillo para conocer posición



- 29.- Apriete a 320Nm. Útil llave dinamométrica
- 30.- Colocar guías (x2) BP13613 en carcasa CE19422. Útil buterola F-67-10-17177 y maza
- 31.-Coger tapa CE18969 y posicionar en carcasa según guías BP13613. Útil martillo
- 32.- Colocar tornillos 19M7867 (x6) en tapa en posición. Útil pistola neumática
- 33.- Engrasar alojamiento pista en eje intermedio
- 34.- Colocar pista JD8267 en alojamiento de tapa CE18969
- 35.- Colocar suplemento CE19007 sobre eje intermedio en carcasa
- 36.- Colocar tapa CE19134 sobre suplemento y eje intermedio
- 37.- Fijar la tapa con tornillos 19M7785 (x3). Estos tornillos serán retirados más tarde
- 38.- Girar la carcasa 180°
- 39.- Situar protectores eje intermedio DE19898 y diferencial DE19618
- 40.- Colocar tornillos 19M8274 (x2) en DE19618. Útil pistola neumática
- 41.- Colocar tornillos 19M8274 (x2) en DE19898. Útil pistola neumática
- 42.- Comprobar giro eje intermedio-diferencial
- 43.- Quitar tornillos 19M8274 (x4). Útil pistola neumática
- 44.- Aplicar activador 7639 y Loctite 270 en tornillos 19M8274 (x4)
- 45.- Montar con pistola neumática tornillos 19M8274 (x4) en posición
- 46.- Comprobar correcto engrane ejes
- 47.- Pintar un tornillo para conocer posición
- 48.- Apriete a 25Nm tornillos 19M8274 (x4). Útil llave dinamométrica
- 49.- Situar calibre F-49-31-16604 en posición en carcasa con gancho y polipasto
- 50.- Retirar gancho y polipasto
- 51.- Colocar flor CE19191 con gancho y polipasto sobre calibre F-49-31-16604
- 52.- Retirar gancho y polipasto



- 53.- Fijar calibre F-49-31-16604 con tornillos. Útil pistola neumática
- 54.- Apriete 40Nm tornillos calibre. Útil llave dinamométrica
- 55.- Con medida calibre calcular suplementos
- 56.- Retirar tornillos calibre F-49-31-16604
- 57.- Con gancho y polipasto retirar flor CE19191
- 58.- Con gancho y polipasto retirar calibre F-49-31-16604. Limpiar calibre
- 59.- Colocar guías en carcasa (x2)
- 60.- Colocar paquete de suplementos en carcasa según medida calibre. Suplementos CE18970 (plástico), CE18989, CE18988; CE18987. Colocaremos suplementos de plástico al principio y al final del paquete
- 61.- Colocar flor CE19191 con gancho y polipasto en carcasa
- 62.- Retirar guías (x2) flor CE19191
- 63.- Colocar tornillos 19M8208 (x6). Útil pistola neumática
- 64.- Pintar un tornillo para conocer su posición
- 65.- Apriete a 320Nm. Útil llave dinamométrica
- 66.- Retirar gancho, cáncamos (x2) y polipasto
- 67.- Girar caja 180°
- 68.- Retirar tornillos 19M7785 (x3)
- 69.- Retirar tapa eje intermedio CE19134 y suplemento
- 70.- Colocar calibre F-49-31-16605 en posición y montar tapa CE19134 en calibre. Útil pistola neumática
- 71.- Apriete a 25Nm. Útil llave dinamométrica
- 72.- Girar eje para medir con calibre F-49-31-16605
- 73.- En función de la medida montar paquete con suplementos CE19005, CE19006 y CE19007
- 74.- Montar tapa CE19134 con tornillos 19M7785 (x3). Útil pistola neumática
- 75.- Girar la caja 180°



- 76.- Situar guías (x3) BP13613 en flor CE19191. Útil con buterola F-67-10-17177 y maza
- 77.- Colocar anillo tórico R98502 en tapón R39112
- 78.- Engrasar conjunto anterior
- 79.- Montar conjunto anterior en carcasa CE19422
- 80.- Colocar tuerca H104418 en sensor AZ51016
- 81.- Aplicar Loctite 572 y colocar en carcasa
- 82.- Colocar retén DE19537 engrasado en carcasa en posición. Útil buterola F-67-10-17178 y maza
- 83.- Quitar tapón racor 61M5009 y colocar en flor CE19191 en posición
- 84.- Aplicar silicona en carcasa e hydro
- 85.- Colocar guías en carcasa (x2)
- 86.- Colocar cáncamos (x2) en hydro
- 87.- Con polipasto y gancho coger hydro y montar en posición en carcasa. Útil martillo
- 88.- Retirar gancho, polipasto, guías (x2) y cáncamos (x2)
- 89.- Colocar 4 tornillos 19M7843 (x4) en carcasa en posición. Útil pistola neumática
- 90.- Pintar un tornillo para conocer su posición
- 91.- Apriete a 320Nm. Útil llave dinamométrica
- 92.- Colocar respiradero AH20868 aplicando Loctite 572 en hydro . Útil llave
- 93.- Girar caja 180°
- 94.- Desmontar tapa eje intermedio CE19134, quitando tornillos 19M7785(x3) y suplementos.
- 95.- Quitar tornillos 19M7867 (x6) de tapa CE18969. Útil pistola neumática
- 96.- Roscar dos tornillos 19M7867 en posición para facilitar extracción tapa CE18969
- 97.- Retirar tornillos anteriores y situar tapa CE18969 en mesa



- 98.- Retirar gancho de transporte del eje de entrada. Tumbiar eje y retirar útil inferior
- 99.- Roscar cáncamo en el eje de entrada para su transporte
- 100.- Con gancho y polipasto coger eje de entrada y situarlo en carcasa en posición
- 101.- Retirar gancho, cáncamo y polipasto
- 102.- Encender calibre. Colocar útil F-49-31-16621 sobre tapa CE18969 y útil F-49-31-16621 sobre carcasa y eje de entrada
- 103.- Comprobar lectura calibre y hacer paquete de suplementos (CE19695, CE18975, CE18976)
- 104.- Retirar calibres F-49-31-16621
- 105.- Colocar guías para suplementos y colocar paquete en eje de entrada
- 106.- Dar silicona en carcasa en posición tapa CE18969
- 107.- Colocar tapa CE 18969 en carcasa eje de entrada. Útil martillo
- 108.-Colocar soporte AZ 101137 en tapa CE 18969
- 109.- Colocar tornillos 19M7867 (x9)
- 110.-Colocar tornillos 19M7657 (x2) en posición.
- 111.-Marcar un tornillo con pintura
- 112.-Apretar tornillos 19M7867 (x9). Útil pistola neumática
- 113.-Apretar tornillos 19M7657 (x2). Útil pistola neumática
- 114.-Apriete tornillos 19M7867 (x9) y 19M7657 (x2) a 35Nm. Útil llave dinamométrica
- 115.- Retirar guías
- 116.- Montar anillos tóricos R26286 (x4) en tubos CE19162 (x2)
- 117.- Engrasar anillos tóricos R26286 (x4)
- 118.- Montar conjunto en carcasa eje de entrada con útil
- 119.- Limpiar carcasa
- 120.- Montar en posición arandelas Z74457 (x6) en tornillos 19M8963 (x 6)



- 121.- Apretar tornillos 19M8963 (x6). Útil pistola neumática
- 122.- Apretar conjunto. Útil pistola neumática
- 123.- Apriete tornillos 19M8963 a 70Nm. Útil llave dinamométrica
- 124.- Colocar pista JD 8267 en eje intermedio manualmente.
- 125.- Colocar suplementos en pista
- 126.- Montar anillo tórico Z48079 en tapa CE19134
- 127.- Engrasar anillo tórico Z48079
- 128.- Montar conjunto en eje intermedio. Útil martillo
- 129.- Colocar en posición tornillos 19M7785 (x3)
- 130.- Apretar tornillos 19M7785 (x3) en tapa CE19134. Útil pistola
- 131.- Marcar un tornillo con pintura
- 132.- Apriete tornillos 19M7785 a 70Nm. Útil llave dinamométrica
- 133.- Dar aceite en alojamiento de pista JD8257
- 134.- Montar pista JD8257 en eje de entrada
- 135.- Montar pasador 44M7103 en tapa CE19161. Útil martillo
- 136.- Colocar conjunto pasador 44M7103 y tapa CE19161 en eje de entrada
- 137.- Retirar calibre F-49-31-16606 y tapa eje de entrada
- 138.- Situar paquete de suplementos en eje de entrada. Suplementos CE19033, CE19032 y CE19031
- 139.- Montar segmento R33248 en tapa CE19161
- 140.- Montar anillos tóricos R53543 y R98502 en tapa CE19161
- 141.- Engrasar anillo tóricos R53543 y R98592 y segmento R33248
- 142.- Colocar tapa CE19161 en posición. Útil martillo
- 143.- Coger filtro R53169 y tapón CE19152. Aplicar Loctite al tapón y enroscar en filtro
- 144.- Acoplar el conjunto filtro DE19620 (formado por filtro R53169 y tapón CE19152) en carcasa en posición



- 145.- Montar racor 61H1165 en carcasa en posición
- 146.- Coger anillo tórico U13639 y montar en tapón R39741
- 147.- Engrasar conjunto anillo tórico U13639 y tapón R39741 y colocar en posición en carcasa. Útil llave
- 148.- Montar racores DE20029 (x2) en flor CE19190 en posición
- 150.- Montar guías BP13613 (x3) en flor CE19190
- 151.- Con polipasto y útil coger premontaje freno1
- 152.- Engrasar anillo tórico R57050 freno y guías BP13613.
- 153.- Montar freno en posición en caja. Ayudándose de útil martillo
- 154.- Retirar útil y polipasto
- 155.- Posicionar tornillos 19M7841 (x6) en freno
- 156.- Apretar tornillos 19M7841 (x6).Útil pistola neumática
- 157.- Pintar un tornillo para posicionar
- 158.- Apriete 130Nm. Útil llave dinamométrica
- 159.- Girar caja 90°
- 160.- Comprobar el correcto giro del eje de freno1
- 161.- Girar caja 90°
- 162.- Recortar junta de freno. Útil cuchillo
- 163.- Coger y retirar tapones a racores 61M5009 y 61M5002
- 164.- Montar racores 61M5009 y 61M5002 en freno1 en posición. Útil llave
- 165.- Montar conjunto adaptador Z65307, arandela 51M4234 y purgador AZ36462
- 166.- Montar conjunto en freno1 en posición. Útil llave
- 167.- Girar caja 180°
- 168.- Con polipasto y útil coger premontaje freno2
- 169.- Engrasar anillo tórico R57050 y guías BP13613



- 170.- Montar freno2 en posición en caja. Útil martillo
- 171.- Retirar útil y polipasto
- 172.- Posicionar tornillos 19M7841 (x6) en freno
- 173.- Apretar tornillos 19M7841 (x6). Útil pistola neumática
- 174.- Pintar un tornillo para posicionar
- 175.- Apriete 130Nm. Útil llave dinamométrica
- 176.- Girar caja 90°
- 177.- Comprobar el correcto giro del eje del freno2
- 178.- Girar caja 90°
- 179.- Recortar junta de freno. Útil cuchillo
- 180.- Coger y retirar tapones a racores 61M5009 y 61M5002
- 181.- Montar racores 61M5009 y 61M5002 en freno en posición. Útil llave
- 182.- Montar conjunto adaptador Z65307, arandela 51M4234 y purgador AZ36462
- 183.- Montar conjunto en freno2 en posición
- 184.- Girar caja 90°
- 185.- Aplicar activador 7649 y Loctite 270 en engrasador H110539. Comprobar agujero en engrasador
- 186.- Montar en eje de entrada. Útil llave en T
- 187.- Girar caja
- 188.- Aplicar silicona al doble asiento de tapa
- 189.- Limpiar tapa CE18967
- 190.- Situar guías (x2) roscándolas en carcasa de tapa
- 191.- Colocar tapa CE18967 en posición en caja
- 192.- Apuntar tornillos 19M7785 (x12) en posición
- 193.- Quitar guías (x2)



- 194.- Apretar tornillos 19M7785 (x12). Útil pistola neumática
- 195.- Marcar un tornillo con pintura para posicionar
- 196.- Apriete a 70Nm. Útil llave dinamométrica
- 197.- Aplicar Loctite 572 en tapón 15H238
- 198.- Montar en tapa CE18967 en posición tapón 15H238. Útil llave
- 199.- Soplar tapón AH18240. Útil manguera de aire
- 200.- Aplicar Loctite 572 en tapón AH18240
- 201.- Montar en posición y ajustar con llave
- 202.- Retirar tapón de plástico de los tapones R27094
- 203.- Montar anillos tóricos R26286 (x2) en tapones R27094
- 204.- Montar un conjunto (tapón R27094 + anillos tóricos R26286 (x2)) en tapa CE18967
- 205.- Montar el otro conjunto en carcasa CE19422
- 206.- Montar anillo tórico R26286 en sensor de temperatura AH156144
- 207.- Situar en posición conjunto (sensor AH156144 + anillo tórico R26286) y apretar con llave
- 208.- Girar caja 90°
- 209.- Taladrar tapa para situar chapa identificativa
- 210.- Con remaches (x2) y martillo colocar chapa identificativa en tapa.
- 211.- Colocar válvula de seguridad AZ101765 con tuerca H174603 en posición en carcasa. Útil llave
- 212.- Quitar tapones a racor 61M5003
- 213.- Montar racor 61M5003 en válvula. Útil llave
- 214.- Girar caja 90°
- 215.- Sujetar caja con útil y polipasto
- 216.- Quitar tornillos de sujeción (x4) al banco con útil

9 Pruebas en banco



- 1.- Coger caja con polipasto y útil y situar en banco en posición
- 2.- Preparar ordenador para comenzar pruebas. Seguir instrucciones software
- 3.- Una vez correctamente sujeta la caja en banco retirar polipasto y útil
- 4.- Quitar tapones a los racores. Útil alicates
- 5.- Colocar adaptadores de enchufado rápido (x7)
- 6.- Apretar adaptadores de enchufado rápido. Útil llave
- 7.- Colocar manguera en adaptador del diferencial
- 8.- Seguir instrucciones software. Prueba de fugas diferencial
- 9.- Retirar manguera posición anterior y colocar en el punto de lubricación del freno de servicio izado
- 10.- Seguir instrucciones software. Prueba lubricación
- 11.- Retirar manguera posición anterior y colocar en el punto de lubricación del freno de servicio derecho
- 12.- Seguir instrucciones software. Prueba lubricación
- 13.- Retirar manguera posición anterior y colocar en el punto de lubricación del freno de estacionamiento izado
- 14.- Seguir instrucciones software. Prueba de estanqueidad
- 15.- Retirar manguera posición anterior y colocar en el punto de lubricación del freno de estacionamiento derecho
- 16.- Seguir instrucciones software. Prueba de estanqueidad
- 17.- Retirar manguera posición anterior y colocar en punto de lubricación del freno de servicio izado
- 18.- Quitar tapones purgadores
- 19.- Abrir purgador izquierdo y colocar manguito
- 20.- Seguir instrucciones software. Purga
- 21.- Retirar manguito purgador y cerrar purgador izado
- 22.- Seguir instrucciones software. Prueba de estanqueidad



- 23.- Retirar manguera posición anterior y colocar en punto de lubricación freno de servicio derecho
- 24.- Abrir purgador derecho y colocar manguito
- 25.- Seguir instrucciones software. Purga
- 26.- Retirar manguito purgador y cerrar purgador derecho
- 27.- Seguir instrucciones software. Prueba de estanqueidad
- 28.- Quitar manguera
- 29.- Poner tapones a los purgadores
- 30.- Desconectar adaptadores de enchufado rápido (x5) menos los correspondientes a ambos frenos de servicio
- 31.- Seguir instrucciones software
- 32.- Coger el sustituto del cuerpo de válvulas y situar en posición
- 33.- Apretar tornillos sustituto cuerpo de válvulas. Útil pistola neumática
- 34.- Colocar manguera en el punto del cuerpo de válvulas C
- 35.- Seguir instrucciones software
- 36.- Retirar manguera y colocar en el punto del cuerpo de válvulas B
- 37.- Seguir instrucciones software
- 38.- Retirar manguera y colocar en el punto del cuerpo de válvulas P
- 39.- Seguir instrucciones software
- 40.- Retirar manguera
- 41.- Retirar sustituto cuerpo de válvulas
- 42.- Colocar en posición cuerpo de válvulas DE19637
- 43.- Fijar cuerpo de válvulas DE19637 con tornillos 19M8183 (x4). Útil pistola neumática
- 44.- Apriete tornillos 19M8183 (x4) 50Nm. Útil llave dinamométrica
- 45.- Retirar tapones de plástico cuerpo de válvulas (x7). Útil alicates
- 46.- Retirar tapones (x2) cuerpo de válvulas. Útil llave



- 47.- Retirar tapón racor 61M5003
- 48.- Montar racor 61M5003 en cuerpo de válvulas. Útil llave
- 49.- Retirar tapon racor 61H1173 (x5)
- 50.- Montar racor 61H1173 en cuerpo de válvulas. Útil llave
- 51.- Retirar tapón racor 61M5017
- 52.- Montar racor 61M5017 en cuerpo de válvulas. Útil llave
- 53.- Montar tubería CE19624 en posición. Útil llave
- 54.- Retirar tapones (x3) racor 61H1206
- 55.- Montar racor 61H1206 en tubería DE19675
- 56.- Montar conjunto tubería DE19675 y racor 61H1206 en posición en caja
- 57.- Retirar tapones (x3) racor 61H1031
- 58.- Montar racor 61H1031 en cuerpo de válvulas
- 59.- Montar tubería DE19713
- 60.- Montar tubería de vaciado
- 61.- Seguir instrucciones software. Girar caja
- 62.- Apretar tuberías. Útil llave
- 63.- Montar tubería DE19691
- 64.- Montar tubería DE19712
- 65.- Montar tubería DE19692
- 66.- Seguir instrucciones software. Girar caja
- 67.- Montar tubería de llenado
- 68.- Montar latiguillo esclavo en cuerpo de válvulas. Útil llave
- 69.-Retirar tapón sensores AZ71421 (x2)
- 70.- Montar sensores AZ71421 (x2) en posición. Útil llave
- 71.- Conectar cables de ensayo a sensores y válvulas en posición



- 72.- Seguir instrucciones software. Girar caja
- 73.- Conectar cables de ensayo de temperatura y revoluciones
- 74.- Conectar mangueras a ambos frenos (izquierdo. y derecho)
- 75.- Seguir instrucciones software
- 76.- Retirar tornillos frenos (x6, 3 en cada lado)
- 77.- Colocar tapones 15M7024 con arandela 51M4234 en posición de los tornillos anteriores
- 78.- Seguir instrucciones software. Prueba de rodadura
- 79.- Vaciado de aceite caja
- 80.- Retirar mangueras instaladas
- 81.- Con útil y polipasto retirar caja del banco de pruebas y situar en mesa para su pintado



Anexo V.- Figuras descriptivas *Crawler*



Anexo V. Figura 1. Crawler vista 1



Anexo V. Figura 2. Crawler vista 2



Anexo VI.- Secuencia de eventos *Crawler*

1.- Montaje Corona 750

1.- Alcanzar polipasto y enganchar en Corona T-200200. Colocar en prensa, desenganchar, quitar gancho y retirar polipasto.

1,877 min. Std

2.- Limpiar con trapo alojamiento del rodamiento y corona.

0,787 min. Std

3.- Engrasar alojamiento del rodamiento.

0,524 min. Std

4.- Colocar rodamiento JD- 9603

0,456 min. Std

5.- Accionar prensa (50Bar de presión en la prensa)

1,047 min. Std

6.- Recolocar corona T-195868 para enganchar. Alcanzar polipasto, colocar gancho, enganchar en corona y colocar sobre camino de rodillos (girándola). Desenganchar.

2,669 min. Std

7.- Cambiar ganchos

0,303 min. Std

8.- Enganchar en corona T-200200 y colocar en la corona interior T-195868. Desenganchar, quitar gancho y retirar polipasto. Accionar elevadores neumáticos.

2,587 min. Std

9.- Montar anillo T-200401 en corona

1,038 min. Std

10.- Recoger elevadores neumáticos. Colocar corona en volteador y darle la vuelta. Empujar sobre camino de rodillos.

1,068 min. Std



2.- Montaje Tambor 750

- 1.- Limpiar con trapo útil de centrado de pista
0,363 min. Std
- 2.- Colocar pista JD-9157 en útil de prensa con la parte ancha para arriba (quitando plástico de pista y echándolo a papelera)
0,678 min. Std
- 3.- Quitar flejes y plásticos de bandeja de tambores
0,121 min. Std
- 4.- Colocar 3 cáncamos
0,660 min. Std
- 5.- Alcanzar polipasto. Enganchar en tambor T-208895. Elevar. Limpiar con trapo zona de colocación de pistas.
3,367 min. Std
- 6.- Engrasar con brocha la zona de alojamiento de la pista de abajo.
0,633 min. Std
- 7.- Colocar tambor T-208895 en útil de prensa. Desenganchar y retirar polipasto
1,458 min. Std
- 8.- Engrasar la zona de alojamiento de pista.
0,569 min. Std
- 9.- Colocar pista JD-9157 en tambor con la parte ancha para abajo (quitando plástico de pista y echándolo a la papelera)
0,589 min. Std
- 10.- Accionar prensa
1,035 min. Std
- 11.- Limpiar con trapo y lubricar con alcohol el alojamiento del retén.
1,646 min. Std
- 12.- Abrir caja de retenes AT-305699. Arrojando papel envolvente a la papelera



0,436 min. Std

13.- Colocar retén AT- 305699 en su útil. Lubricar el retén con alcohol.

0,633 min. Std

14.- Montar retén AT-305699 el tambor dando golpes en el útil hasta que el retén entre del todo. Quitar útil

0,468 min. Std

15.- Comprobar con calibre digital la diferencia de altura del retén (menos de 1mm).Comprobar en 3 puntos del retén.

0,686 min. Std

16.- Alcanzar polipasto. Enganchar en tambor T-208895.Sacarlo y posicionarlo sobre camino de rodillos. Desenganchar.

1,766 min. Std

17.- Quitar 3 cáncamos

0,660 min. Std

18.- Retroceder cilindro de sujeción y empujar en camino de rodillos. Colocar tambor T-208895 en volteador. Accionar cilindros de sujeción y darle la vuelta. Empujar en camino de rodillos.

0,883 min. Std

3.- Montaje de Freno 750

1.- Preparar kit de premontaje de freno: 16 muelles T-56467; 1 pasador T-206572; 1 pasador acanalado 34M7131; 4 tornillos 19M7835; 1 junta T-164624; 4 ferodos AT- 300740; 4 chapas R-81499

1,952 min. Std

2.- Coger cubo de freno T-200551 y colocar en mesa. Montar pasador T-206572 y pasador acanalado 34M7131 en cubo de freno T-200551 con útil especial comprobando que se ha montado correctamente.

1,396 min. Std

3.- Coger pistón T-200271 (limpiar) y colocarle anillo tórico T-152624. Dar aceite con brocha al anillo T-152624.Colocar pistón en útil de prensa

1,096 min. Std



4.- Colocar 2 cáncamos.

0,550 min. Std

5.- Alcanzar polipasto. Enganchar en carcasa de freno T-202030 y elevar, con pieza suspendida colocar anillo tórico T-153832 en ranura interior de carcasa. Colocar 2 anillos tóricos T-153833 en ranuras exteriores de carcasa T-202030. Dar aceite con brocha a los 3 anillos tóricos: T-153832 y T-153833 (x2).

3,470 min. Std

6.- Colocar carcasa T-202030 sobre pistón T-200271 en prensa. Desenganchar y retirar polipasto. Quitar 2 cáncamos. Ajustar carcasa T-202030 golpeando con martillo de plástico.

1,307 min. Std

7.- Colocar útil. Desplazar carro. Accionar prensa. Desplazar carro. Quitar útil.

1,035 min. Std

8.- Colocar los 16 muelles T-56467

1,061 min. Std

9.- Atornillar 2 guías en carcasa T-202030.

0,238 min. Std

10.- Colocar placa T-200272 sobre muelles T-56467 con referencia hacia arriba

0,624 min. Std

11.- Colocar útil. Colocar anillo elástico T-45901 sobre útil. Desplazar carro hasta tope. Montar anillo T-45901 accionando prensa. Controlar presión 160 Bar. Retirar carro hasta tope. Quitar útil y guías.

0,924 min. Std

12.- Aplicar presión para que la placa T-200272 retraiga. Controlar presión de aire 12 Bar.

0,294 min. Std

13.- Colocar 1 chapa R-81499. Colocar 1 ferodo AT-300740. Colocar cubo de freno T-200551 premontado con caña hacia abajo. Accionar retroceso de cilindro neumático y colocar uno por uno 3 chapas R-81499 y 3 ferodos AT-300740

4,074 min. Std



14.- Colocar 4 guías y montar junta T-164264 sobre carcasa T-202030.

0,395 min. Std

15.- Coger placa T-200552 (limpiarla) y colocarla usando guías. Quitar las 4 guías.

2,608 min. Std

16.- Montar tornillos 19M7835(x4). Apretándolos con pistola.

0,945 min. Std

17.- Pintar un tornillo. Dar par de apriete de 73Nm a los 4 tornillos 19M7835. Desactivar aire.

1,027 min. Std

18.- Colocar 2 cáncamos

0,550 min. Std

19.- Alcanzar polipasto. Enganchar en pieza. Sacarla y colocarla en camino de rodillos correspondiente.

0,768 min. Std

20.- Quitar 2 cáncamos.

0,550 min. Std

4.- Montaje Transportador Planetarios 750

1.-Colocar piezas de los (3) rodamientos DE-18556 en sus bandejas de kits.

2,561 min. Std

2.- Colocar pista (3) izquierda en su alojamiento.

0,327 min. Std

3.- Coger piñón (3) T-212530.Limpiarlos con trapo, marcar letra "D" y colocar en útil de prensa.

2,177 min. Std

4.- Colocar útiles (3) y anillos elásticos con aberturas enfrentadas. Colocar empujador (3).



- 1,843 min. Std**
- 5.- Poner selector en posición 1 (50Bar) y Montar (3) cilindros.
- 0,444 min. Std**
- 6.- Quitar útiles y empujadores. Recolocar anillos.
- 1,432 min. Std**
- 7.- Colocar Pistas (3) del lado derecho.
- 0,403 min. Std**
- 8.- Poner selector en posición 2 (95Bar) y montar (6) cilindros.
- 0,567 min. Std**
- 9.- Colocar agarre en portaplanetario T-196375. Alcanzar polipasto. Enganchar. Elevar y con pieza suspendida limpiar carcasa con trapo y colocarlo en útil. Desenganchar. Quitar agarre y centrar en útil.
- 3.080 min. Std**
- 10.- Sacar piñones T-212530 y colocar cono izquierdo, separador y cono derecho. Colocar conjunto de piñones T-212530 en cada agujero de la carcasa con las letras hacia arriba.
- 1,889 min. Std**
- 11.- Colocar patrón en cada Piñón T-212530 para guiar los rodamientos. Coger bulones T-200202 y engrasar. Sacar el patrón e introducir los bulones T-200202. Montar los 3 bulones girando la carcasa T-196375 (100Bar en la prensa).
- 4,723 min. Std**
- 12.- Montar (1) tornillo 19M9387 en cada bulón T-200202. Apretarlos con pistola neumática.
- 1,745 min. Std**
- 13.- Comprobar con llave dinamométrica par de apriete 320Nm. Marcar el primer tornillo que se aprieta, comprobar consecutivamente los 3 tornillos y el primero 2 veces.
- 0,871 min. Std**
- 14.- Rotar y verificar que los piñones quedan sueltos después de montarlos.
- 1,417 min. Std**
-



15.- Colocar anillo tórico T-166933 en la ranura del transportador.

0,577 min. Std

16.- Colocar agarre en transportador. Alcanzar polipasto enganchar y colocar en camino de rodillos. Desenganchar y quitar agarre.

1,478 min. Std

17.- Deslizar hacia volteador. Darle la vuelta y empujar sobre camino de rodillos.

0,834 min. Std

5.-Lágrima 750 LGP

1.- Colocar útil para eje solar T212533

2,481 min. Std

2.- Preparar kit de montaje. Conos JD8130 (x4), pistas JD7446 (x4), retén T55338, anillo T200689, anillo 40M7120

2,602 min. Std

3.- Limpiar tapa T203227 y colocarla en posición

0,496 min. Std

4.- Engrasar alojamiento pista JD7446. Colocar pista JD7446 en posición

0,504 min. Std

6.- Colocar cono JD8130 (x1) en útil con letras hacia arriba y cono JD8130 (x1) en prensa

0,242 min. Std

7.- Engrasar alojamiento eje de entrada T215929 y alojamiento pista JD7446. Colocar eje de entrada T215929 con estriado hacia arriba

2,602 min. Std

9.- Limpiar eje solar T212533 y colocarlo en el banco

0,726 min. Std

10.- Colocar rodamiento JD9603 en útil con la referencia hacia arriba



	0,391 min. Std
11.- Subir neumático	
	0,121 min. Std
12.- Colocar agarres (x3) en lágrima T200196. Con gancho y polipasto colocar lágrima T200196 en posición en prensa. Retirar gancho, polipasto y agarres (x3)	
	6,977 min. Std
13.- Colocar buterola de rodamiento JD9603	
	0,169 min. Std
14.- Accionar prensa. Presión 100Bar	
	0,760 min. Std
15.- Retirar buterola de rodamiento JD9603	
	0,169 min. Std
16.- Accionar prensa y colocar pista JD7446 y cono JD8130	
	0,509 min. Std
17.- Colocar retén T55338 en lágrima en posición. Útil buterola F-67-10-17070. Accionar prensa. Presión 100 bar	
	0,780 min. Std
18.- Retirar buterola F-67-10-17070	
	0,121 min. Std
19.- Engrasar alojamiento pista JD7446. Colocar pista JD7446 en posición. Letras hacia abajo.	
	0,460 min. Std
20.- Colocar buterola y accionar prensa. Retirar buterola	
	0,624 min. Std
21.- Colocar rodamientos JD8130 (x2) en posición en lágrima. El primero con las letras hacia arriba; el segundo con las letras hacia abajo	
	0,258 min. Std



- 22.-Colocar pista JD7446 en posición en lágrima
0,169 min. Std
- 23.- Colocar buterola y accionar prensa. Retirar buterola
0,702 min. Std
- 24.- Colocar anillo T200698. Útil alicates de punta
0,569 min. Std
- 25.- Engrasar alojamiento pista JD7446. Colocar pista JD7446 en posición con letras hacia abajo
0,589 min. Std
- 26.- Colocar buterola y accionar prensa. Quitar buterola
0,678 min. Std
- 27.- Colocar eje de entrada T215929 en posición
0,226 min. Std
- 28.- Colocar buterola en posición en lágrima. Bajar la prensa y subir cilindro de montaje inferior de lágrima. Verificar que ha subido el eje solar T212533. Retirar buterola
0,825 min. Std
- 29.- Con gancho y polipasto coger corona T141823. Limpiarla y colocar en posición en lágrima T200196. Retirar gancho y polipasto
2,608 min. Std
- 30.- Colocar buterola. Bajar la prensa y subir cilindro de montaje inferior de lágrima. Verificar que el eje ha subido. Retirar buterola
1,786 min. Std
- 31.- Colocar anillo elástico 40M7120. Útil alicates de punta
0,569 min. Std
- 32.- Golpear con maza eje solar T212533
0,205 min. Std



33.- Colocar suplementos T216314 (x2) en posición. Colocar tapa en la posición en eje de entrada T215929. Colocar tornillos 19M8637(x4) en posición en tapa. Ajustar posición tapa con martillo. Apretar tornillos 19M8637 (x4). Útil pistola neumática. Apriete tornillos 19M8637 (x4) a 73Nm. Útil llave dinamométrica. Colocar útil de roscado en el eje hasta el final de rosca. Rotar el eje, aplicando presión, para situarlo en su cero teórico. Colocar peana magnética con reloj comparador. Poner el reloj a cero. Colocar palanca especial entre útil de roscado y superficie lágrima. Hacer presión sobre la palanca para hacer subir el eje de entrada. Comprobar juego en reloj comparador (medida correcta entre 0,08 y 0,33mm). Anotar datos en hoja de medidas. Si la medida no es correcta repetir las operaciones de reglaje anteriores con un nuevo paquete formado por suplementos T216315 y T216314

7,370 min. Std

34.- Retirar tornillos 19M8637 (x4). Útil pistola neumática. Colocar tornillos 19M8637 (x8) en tapa en posición aplicándoles Loctite 277. Útil pistola neumática

2,731 min. Std

35.- Marcar el primer tornillo que se aprieta. Apriete tornillos 19M8637 (x8) a 73Nm. Útil llave dinamométrica. Apretar el tornillo marcado 2 veces

1,355 min. Std

36.- Verificar que el eje de entrada y la corona giran libremente y sin ruidos. Subir neumático

0,290 min. Std

37.- Colocar agarres (x3) en conjunto. Con gancho y polipasto retirar conjunto y situarlo en camino de rodillos. Retirar agarres (x3)

3,581 min. Std

38.- Empujar conjunto hacia volteador. Girarlo y empujar sobre camino de rodillos.

1,840 min. Std

39.- Apuntar en hoja dato reglaje eje de entrada y referencia eje.

0,110 min. Std

6.- Montaje Final 750 LGP Derecha AT300023



1.- Colocar (2) agarres en carcasa T-208513. Alcanzar polipasto. Colocar cadena y enganchar en carcasa T-208513 soplar carcasa con manguera de aire. Colocarla en útil centrándola. Colocar tornillos (x4). Desenganchar. Quitar cadenas. Retirar polipasto. Quitar (2) agarres.

5,277 min. Std

2.- Apretar tornillos con llave Allen.

2,895 min. Std

3.- Colocar bola R-29194 con martillo. Colocar tapones (2) T-78662 con (2) anillos tóricos U-17409 apretándolos con llave de carraca y dando un par de 73Nm.

6,509 min. Std

4.- Aplicar Loctite 277 en carcasa T-208513 extendiendo con rodillo.

3,812 min. Std

5.- Coger (22) tornillos 19M8610 y colocar sobre bancada.

1,271 min. Std

6.- Alcanzar lágrima T-200196. Colocar gancho en lágrima T-200196. Alcanzar polipasto, enganchar en lágrima y colocar encima de la carcasa T-208513. Colocar (6) tornillos 19M7960. Desenganchar. Retirar polipasto. Quitar gancho. Apuntar datos en hoja.

7,987 min. Std

7.- Colocar (16) tornillos. Apretar los (22) tornillos 19M7960 con pistola neumática. Marcar con rotulador (1) tornillo.

5,359 min. Std

8.- Con llave dinamométrica dar el par a los (22) tornillos de 320Nm.

4,168 min. Std

9.- Limpiar Lágrima T-200196 con trapo y alcohol y lubricar el alojamiento del retén con alcohol.

2,602 min. Std

10.- Alcanzar tambor T-208895. Colocar 3 tornillos. Colocar cáncamos de seguridad. Limpiar tambor con trapo. Colocar cadena, alcanzar polipasto. Enganchar y elevar.



4,984 min. Std

11.- Colocar tambor T-208895 con cáncamos sobre lágrima T-200196. Quitar cadenas y retirar polipasto. Girar el tambor.

3,162 min. Std

12.- Coger corona premontada T-200200 con gancho en el tambor. Desenganchar. Quitar gancho. Retirar polipasto.

4,066 min. Std

13.- Colocar guías(x2). Colocar suplementos de 1,3 (T-200798). Colocar útil. Colocar tapa T-200364. Colocar tornillos (12) 19M7791 en la tapa. Apretarlos con pistola neumática. Girar tambor. Comprobar par de apriete con llave dinamométrica 130nm; si al volver a apretar los 2 primeros tornillos con la llave éstos se mueven, quitar el paquete de 1,30 y poner uno de 1,45. Colocar útil para el arrastre. Comprobar par de arrastre entre 11 y 21Nm. Anotar el resultado (desmontando si es necesario). Ajustar con suplementos si es necesario: "SI" arrastre alto añadir. "NO" arrastre bajo quitar. Con pistola neumática quitar los 12 tornillos, quitar tapa T-200364, corona T-200200 y tambor T-208895.

22,176 min. Std

14.- Colocar retén AT-305699 en su útil. Limpiar el retén con alcohol. Colocar retén en su alojamiento. Dar golpes secos en el útil hasta que se oiga que el útil toca en el tambor. Quitar útil.

4,127 min. Std

15.- Comprobar con calibre digital la diferencia de altura del retén. Comprobar (3) puntos.

2,803 min. Std

16.- Limpiar con alcohol la superficie del retén.

0,666 min. Std

17.- Engrasar la superficie metálica de la chapa del retén del tambor y retén de la lágrima. Limpiar retén con alcohol.

2,924 min. Std

18.- Alcanzar tambor T-208895. Colocar 4 tornillos. Colocar cáncamos de seguridad. Limpiar tambor con trapo. Colocar cadena. Alcanzar polipasto. Enganchar y elevar.

4,984 min. Std



19.- Colocar Tambor con cáncamos sobre la lágrima. Quitar cadenas y retirar polipasto. Girar tambor T-208895.

3,162 min. Std

20.- Coger corona premontada T-200200 con gancho en el tambor. Desenganchar. Quitar gancho. Retirar polipasto.

4,066 min. Std

21.- Poner 2 guías. Colocar suplementos y tapa de reglaje identificado. Colocar 12 tornillos 19M7493 dandoles Loctite 277 y apretar los 12 tornillos 6 en cruz y los otros 6 igualmente. Girar tambor. Apretar los 12 tornillos 19M7493 con llave de par de 130Nm. Comprobar los 12 tornillos con llave electrónica. Medir par de arrastre y apuntar en hoja.(la diferencia tiene que estar entre 12 y 18Nm).

13,552 min. Std

22.- Alcanzar portaplanetarios T196375.Colocar gancho. Alcanzar polipasto enganchar. Colocar 3 guías. Mover eje de entrada para centrar los piñones. Colocar. Desenganchar y retirar polipasto. Apuntar en hoja.

12,320 min. Std

23.- Poner selector en posición 30. Quitar guías y poner tornillos (30) 19M8306.Apretarlos con pistola neumática

7,125 min. Std

24.- Comprobar par de apriete y número de tornillos

4,045 min. Std

25.- Recolocar carcasa. Colocar (1) tapón T-78662 con (1) anillo U-17409.Apretarlo con llave y darle el par.

4,415 min. Std

26.- Girar banco 90°. Comprobar fugas con fugómetro y anotar valor en hoja.

4,615 min. Std

27.- Colocar (1) tapón T-78662 con (1) anillo U-17409. Apretarlo con llave y darle el par.

3,699 min. Std

28.- Poner las marcas del portaplanetarios perpendiculares al lado de la carcasa con la flecha hacia la parte trasera de los tapones.



0,862 min. Std

29.- Girar volteador. Comprobar par de arrastre del eje de entrada con torsiómetro y anotar valor obtenido. Girar volteador.

4,706 min. Std

30.- Colocar chapa de característica CE-18313 con (2) remaches 25M3827 y (2) arandelas 24M7029 con martillo. Apuntar en cuaderno.

3,799 min. Std

31.- Colocar junta T-162018 con (2) guías.

0,887 min. Std

32.- Colocar 2 cáncamos. Coger conjunto de freno con gancho. Elevar. Limpiar con trapo. Engrasar (2) anillos tóricos del conjunto del freno. Colocar conjunto de freno en carcasa. Desenganchar y retirar polipasto. Quitar 2 cáncamos. Girar tambor para que asiente bien el freno.

5,096 min. Std

33.- Quitar guías y poner (8) tornillos 19M7908 y (8) arandelas 24M7345. Apretarlos con pistola neumática

4,127 min. Std

34.- Marcar el primer tornillo que se apriete. Comprobar par de apriete con llave dinamométrica 130Nm.

2,485 min. Std

35.- Coger Tapa y colocar en el freno. Apretar los tornillos. Hacer prueba de fuga tapa de freno. Aflojar los tornillos, apuntar datos. Quitar tapa de freno. Girar volteador.

7,351 min. Std

36.- Acoplar manguera de aire al agujero roscado de freno. Inclinar banco a 45°. Comprobar con útil que el cubo de freno gira libremente (con 10Bar el freno debe girar). Quitar el aire.(comprobar con útil que NO gire el cubo de freno).Hacer prueba de fuga de freno. Inclinar banco a 45°.

9,660 min. Std

37.- Apuntar datos en hoja.

0,990 min. Std



- 38.- Colocar tapón R-66406 y tapa de freno CE-19089.
1,191 min. Std
- 39.- Girar volteador.
0,706 min. Std
- 40.- Limpiar sobrante de Loctite con trapo.
1,210 min. Std
- 41.- Alcanzar polipasto. Colocar cadena. Enganchar. Tensar.
1,376 min. Std
- 42.- Aflojar tornillos con llave Allen.
4,538 min. Std
- 43.- Sacar mando de útil. Elevar con pieza suspendida. Aplicar antioxidante a la cara plana cuadrada de la carcasa.
4,353 min. Std
- 44.- Coger (1) bolsa VCI del número 1 y envolver el mando. Apoyar en mando final en el pallet. Abrir bolsa. Quitar los 3 tornillos con los cáncamos de seguridad y la cadena. Retirar polipasto.
8,997 min. Std
- 45.- Clavar tirafondos (x7) y arandelas (x7) en cada esquina de la carcasa interior para que rosquen en los tacos del pallet. Apretarlos con pistola neumática.
5,647 min. Std
- 46.- Aplicar antioxidante a las superficies mecanizadas de tambor y del portaplanetarios.
4,961 min. Std
- 47.- Cerrar bolsa y apretarla con brida de plástico.
4,336 min. Std
- 48.- Coger (2) etiquetas. Apuntar fecha. Pegar (1) etiqueta en la bolsa. Grapar (1) etiqueta en el pallet.
2,702 min. Std




49.- Colocar taco supletorio con 4 puntas en ballet

2,296 min. Std


Anexo VII.- Ejemplo hojas estándar de operaciones

JOHN DEERE		Referencia	Dec / Nivel diseño	Paso	Dispositivo	Descripción
		AT300674 / 905	AT300973 / 642	CE13565 / CE13563	1	F-67-10-17062
		AT300902 / 023	AT300971 / 031	Producto		Presna Hidráulica
		AT300972 / 641		Crawler		
<p>▲ TQ</p> <p>■ Instrucción de trabajo</p> <p>● Punto de control</p>	Montaje		Documento	Operación	Página	
	Tambor 750 / 850		Crawler tambor 80	80	1 de 4	
	Nombre	Fecha	Descripción del cambio			
	Hergundas	25/05/2004	Nuevo			
	Chico	20/09/2000	1ª Actualización			



Anexo VII. Figura 1.- Hoja estándar de operaciones *Crawler*

JOHN DEERE		Referencia	Dec / Nivel diseño	Paso	Dispositivo	Descripción
		AT300674 / 901	AT300973 / 642	CE13565 / CE13563		
		AT300902 / 02	AT300971 / 031	Producto		
		AT300972 / 641		Crawler		
<p>▲ TQ</p> <p>■ Instrucción de trabajo</p> <p>● Punto de control</p>	Montaje		Documento	Operación	Página	
	Tambor 750 / 850		Crawler tambor 80	80	2 de 4	
	Nombre	Fecha	Descripción del cambio			
	Hergundas	25/05/2004	Nuevo			
	Chico	20/09/2000	1ª Actualización			



Anexo VII. Figura 2.- Hoja estándar de operaciones *Crawler*



JOHN DEERE		Referencia	Dec / Nivel diseño	Paso	Dispositivo	Descripción	
		AT300674 / 901	AT300973 / 642	CE13960 / CE13963	11	F-67-10-17070	Util para retén
		AT300902 / 023	AT300971 / 031	Producto	12	F-67-10-17070	Util para retén
		AT300972 / 641		Crawler	13	F-67-10-17070	Util para retén
		Montaje	Documento	Operación	Página		
		Tambor 750 / 850	crawler tambor 80	80	3 de 4		
		Nombre	Fecha	Descripción del cambio			
		Herguedas	25/05/2004	Nuevo			
		Chico	20/09/2000	1ª Actualización			

▲ TQ
■ Instrucción de trabajo
● Punto de control

11. Colocar la mitad del retén AT305699 en su util

12. Lubrificar el retén con alcohol

13. Montar retén en el tambor dando golpes secos en el util hasta que el retén entre del todo

Dar golpes secos en el util hasta que se oiga que el util toca en el tambor

Anexo VII. Figura 3.- Hoja estándar de operaciones *Crawler*

JOHN DEERE		Referencia	Dec / Nivel diseño	Paso	Dispositivo	Descripción	
		AT300674 / 901	AT300973 / 642	CE13960 / CE13963	14	S/N	Pie de rey
		AT300902 / 023	AT300971 / 031	Producto			
		AT300972 / 641		Crawler			
		Montaje	Documento	Operación	Página		
		Tambor 750 / 850	crawler tambor 80	80	4 de 4		
		Nombre	Fecha	Descripción del cambio			
		Herguedas	25/05/2004	Nuevo			
		Chico	20/09/2000	1ª Actualización			

▲ TQ
■ Instrucción de trabajo
● Punto de control

14. Comprobar con calibre digital la diferencia de altura del retén : menos de 1mm

15. Colocar tambor en volteador, accionar cilindros de sujeción y darle la vuelta

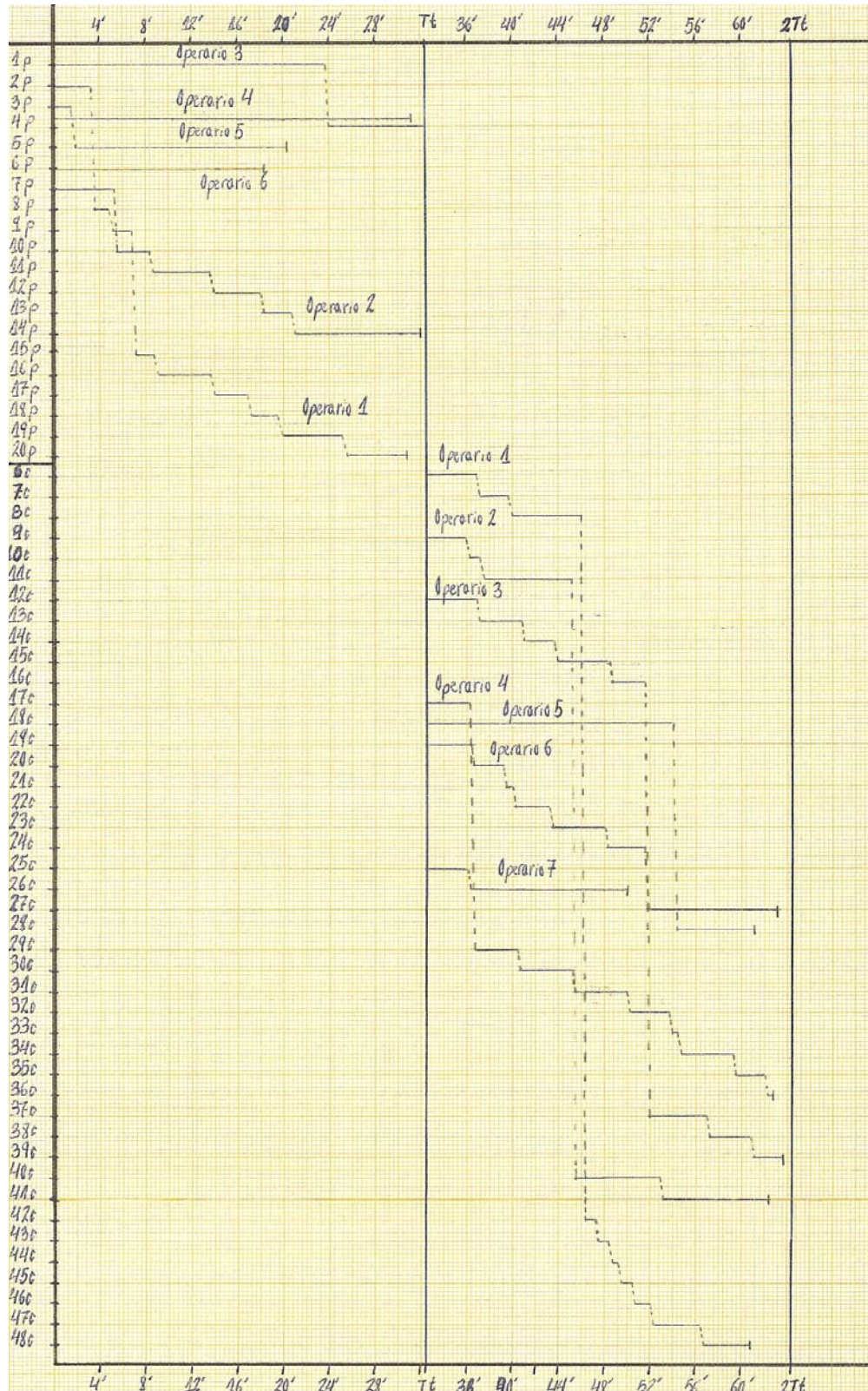
16. Retroceder cilindros de sujeción y empujar en camino de rodillos

Comprobar en 3 puntos del retén

Anexo VII. Figura 4.- Hoja estándar de operaciones *Crawler*



Anexo VIII.- Ruta estándar de operaciones





Anexo IX.- Listas de materiales *Prodrive*

Anexo IX. Tabla 1. Lista de materiales premontaje bloque diferencial

Tarea	T1	
Descripción	Premontaje diferencial	
Referencia	Cantidad	Concepto
RE239643	4	Consumible
R78156	4	Consumible
R93623	2	Consumible
R162100	4	Consumible
JD8290	1	Consumible
JD8210	1	Consumible
CE18973	2	Consumible
CE19046	2	Consumible
R131214	4	Consumible
R68171	21	Consumible
R131177	1	Consumible
19M9070	10	Consumible
R135543	4	Consumible
R112888	14	Consumible
CE19106	1	Carcasa
R136303	1	Planetario
R136302	1	Planetario
M378786	4	Satélite
CE18972	1	Eje
R180260	1	Pistón
CE19112	1	Corona

Anexo IX. Tabla 2. Lista de materiales premontaje eje intermedio

Tarea	T2	
Descripción	Premontaje eje intermedio	
Referencia	Cantidad	Concepto
49M7014	1	Consumible
CE19003	1	Consumible
41M7166	1	Consumible



JD8123	1	Consumible
JD8979	1	Consumible
CE19207	1	Eje

Anexo IX. Tabla 3. Lista de materiales premontaje hydro

Tarea	T3	
Descripción	Premontaje hydro	
Referencia	Cantidad	Concepto
JD7293	1	Consumible
CE19160	1	Hydro

Anexo IX. Tabla 4 Lista de materiales premontaje eje de entrada

Tarea	T4	
Descripción	Premontaje eje de entrada	
Referencia	Cantidad	Concepto
19M7931	6	Consumible
R39304	1	Consumible
CE19267	2	Consumible
R76308	1	Consumible
26M7001	1	Consumible
CE19110	1	Consumible
JD8947	1	Consumible
R36308	1	Consumible
L62161	1	Consumible
L62272	1	Consumible
CE19164	5	Consumible
CE19169	1	Consumible
L33165	1	Consumible
DE19539	1	Consumible
CE19012	8	Consumible
AL38238	8	Consumible
CE19625	1	Consumible
19M7867	6	Consumible
CE19267	2	Consumible
R39280	1	Consumible
CE19156	4	Consumible



CE19168	1	Consumible
R39299	1	Consumible
R64197	7	Consumible
DE19595	6	Consumible
CE19216	1	Consumible
CE19020	3	Consumible
AZ62417	1	Consumible
40M7103	1	Consumible
DE19528	1	Consumible
AR253237	6	Consumible
CE19429	3	Consumible
CE19540	3	Consumible
CE19023	3	Consumible
CE19020	3	Consumible
19M8006	6	Consumible
CE19332	1	Consumible
R76308	1	Consumible
40M7230	1	Consumible
CE19027	1	Consumible
JD8986	1	Consumible
CE19143	1	Carcasa
CE19135	1	Carcasa
CE19330	1	Eje
CE19624	1	Carcasa
CE19159	1	Pistón
R39285	1	Pistón
CE19433	1	Transportador

Anexo IX. Tabla 5. Lista de materiales premontaje freno derecho

Tarea	T5	
Descripción	Premontaje frenos derecho	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE19608	1	Consumible
DE19634	2	Consumible
DE19688	1	Consumible
DE19633	1	Consumible
44M7111	1	Consumible
CE18998	6	Consumible
CE19155	1	Consumible



DE19742	1	Consumible
49M1871	1	Consumible
14M7296	3	Consumible
19M7384	3	Consumible
19M7789	2	Consumible
CE19154	1	Consumible
CE19142	1	Consumible
DE19541	4	Consumible
CE18997	3	Consumible
CE19166	3	Consumible
CE19167	3	Consumible
CE19343	1	Consumible
AZ42575	1	Consumible
CE19178	1	Pistón
DE19179	1	Pistón
CE19176	1	Carcasa
CE19177	1	Tapa
CE19338	1	Eje

Anexo IX. Tabla 6. Lista de materiales premontaje freno izquierdo

Tarea	T6	
Descripción	Premontaje frenos izquierdo	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE19608	1	Consumible
DE19634	2	Consumible
DE19688	1	Consumible
DE19633	1	Consumible
44M7111	1	Consumible
CE18998	6	Consumible
CE19155	1	Consumible
DE19742	1	Consumible
49M1871	1	Consumible
14M7296	3	Consumible
19M7384	3	Consumible
19M7789	2	Consumible
CE19154	1	Consumible
CE19142	1	Consumible
DE19541	4	Consumible
CE18997	3	Consumible



CE19166	3	Consumible
CE19167	3	Consumible
CE19343	1	Consumible
AZ42575	1	Consumible
CE19178	1	Pistón
DE19179	1	Pistón
CE19176	1	Carcasa
CE19177	1	Tapa
CE19338	1	Eje

Anexo IX. Tabla 7. Lista de materiales premontaje flores

Tarea	T7	
Descripción	Premontaje flores	
Referencia	Cantidad	Concepto
JD8191	1	Consumible
15H558	1	Consumible
R77254	2	Consumible
JD8159	1	Consumible
R57050	2	Consumible
R39322	2	Consumible
CE19190	1	Flor
CE19191	1	Flor

Anexo IX. Tabla 8. Lista de materiales tarea T8

Tarea	T8	
Descripción	Preparar kit de montaje	
Referencia	Cantidad	Concepto
H110539	1	Consumible
44M7103	1	Consumible
CE19162	2	Consumible
19M8274	4	Consumible
Z74457	6	Consumible
JD8267	1	Consumible
JD8257	1	Consumible
DE19537	1	Consumible
R33248	1	Consumible



Anexos

R98502	1	Consumible
Z48079	1	Consumible
R26286	4	Consumible
19M8963	1	Consumible

Anexo IX. Tabla 9. Lista de materiales tarea T9

Tarea	T9	
Descripción	Posicionar carcasa en banco	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE19422	1	Carcasa

Anexo IX. Tabla 10. Lista de materiales tarea T10

Tarea	T10	
Descripción	Montaje diferencial y eje intermedio	
Referencia	Cantidad	Concepto
61H1165	1	Consumible
JD7442	1	Consumible
DE19618	1	Consumible
DE19898	1	Consumible

Anexo IX. Tabla 11. Lista de materiales tarea T11

Tarea	T11	
Descripción	Montaje flor lado diferencial	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE18970	1	Consumible
19M8208	6	Consumible

Anexo IX. Tabla 12. Lista de materiales tarea T12

Tarea	T12	
Descripción	Montaje tapa eje de entrada	



Referencia	Cantidad	Concepto
BP13613	2	Consumible
19M7867	6	Consumible
CE19007	1	Consumible
19M7785	3	Consumible
DE19898	1	Consumible
DE19618	1	Consumible
CE18969	1	Tapa
CE19134	1	Tapa

Anexo IX. Tabla 13. Lista de materiales tarea T13

Tarea	T13	
Descripción	Montaje flor lado corona	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE18970	?	Consumible
CE18989	?	Consumible
CE18988	?	Consumible
CE18987	?	Consumible
19M8208	6	Consumible
CE19005	?	Consumible
CE19006	?	Consumible
CE19007	?	Consumible
19M7785	3	Consumible
BP13613	3	Consumible
R39112	1	Consumible
H104418	1	Consumible
AZ51016	1	Consumible
DE19537	1	Consumible
61M5009	1	Consumible

Los signos de interrogación que aparecen en las cantidades de algunas referencias, hacen mención a que su número en el producto será variable debido a que son suplementos correctores de la altura de los diferentes ejes. En sucesivas listas de materiales aparecerán casos parecidos.

Anexo IX. Tabla 14. Lista de materiales tarea T14



Tarea	T14	
Descripción	Montaje eje de entrada	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE19695	?	Consumible
CE18975	?	Consumible
CE18976	?	Consumible
AZ101137	7	Consumible
19M7867	9	Consumible

Anexo IX. Tabla 15. Lista de materiales tarea T15

Tarea	T15	
Descripción	Montaje hydro	
Referencia	Cantidad	Concepto
19M7843	4	Consumible
AH20868	1	Consumible
AZ101137	7	Consumible

Anexo IX. Tabla 16. Lista de materiales tarea T16

Tarea	T16	
Descripción	Montajes varios 1	
Referencia	Cantidad	Concepto
CE19033	?	Consumible
CE19032	?	Consumible
CE19031	?	Consumible
R53543	2	Consumible
R53169	2	Consumible
CE19152	2	Consumible
61H1165	2	Consumible
U13639	2	Consumible
R39741	2	Consumible
DE20029	2	Consumible
CE19161	1	Tapa

Anexo IX. Tabla 17. Lista de materiales tarea T17



Tarea	T17	
Descripción	Montaje freno derecho	
Referencia	Cantidad	Concepto
19M77841	6	Consumible
61M5009	1	Consumible
61M5002	1	Consumible
Z65307	1	Consumible
51M4234	1	Consumible
AZ36462	1	Consumible

Anexo IX. Tabla 18. Lista de materiales tarea T18

Tarea	T18	
Descripción	Montaje freno izquierdo	
Referencia	Cantidad	Concepto
19M77841	6	Consumible
61M5009	1	Consumible
61M5002	1	Consumible
Z65307	1	Consumible
51M4234	1	Consumible
AZ36462	1	Consumible

Anexo IX. Tabla 19. Lista de materiales tarea T19

Tarea	T19	
Descripción	Montaje tapa CE18969	
Referencia	Cantidad	Concepto
H110539	1	Consumible
19M7785	12	Consumible
15H238	1	Consumible
CE18969	1	Tapa

Anexo IX. Tabla 20. Lista de materiales tarea T20

Tarea	T20	
Descripción	Montajes varios 2	



Anexos

Referencia	Cantidad	Concepto
AH18240	1	Consumible
R26286	3	Consumible
R27094	2	Consumible
AH156144	1	Consumible
AZ101765	1	Consumible
H174603	1	Consumible
61M5003	1	Consumible



Anexo X.- Listas de materiales *Crawler*

Descripción	Montaje final		
Tarea	Referencia	Cantidad	Concepto
T6	T208513	1	Carcasa
T8	R29194	1	Consumible
	T78662	2	Consumible
	U17409	2	Consumible
T10	19M8610	22	Consumible
T11	Premontaje lágrima	1	Premontaje lágrima
	19M7960	6	Consumible
T15	Premontaje tambor	1	Premontaje tambor
T17	Premontaje corona	1	Premontaje corona
T18	T200798	?	Consumible
	T200364	1	Tapa
	19M7791	19	Consumible
T19	AT305699	1	Consumible
T26	19M7493	12	Consumible
T27	Premontaje porta.	1	Premontaje porta.
T28	19M8306	30	Consumible
T30	T708602	1	Consumible
	U17409	1	Consumible
T32	T78602	1	Consumible
	U17409	1	Consumible
T35	CE18313	1	Consumible
	25M3827	2	Consumible
	24M7029	2	Consumible
T36	T162018	1	Consumible
T37	Premontaje freno	1	Premontaje freno
T38	19M7908	8	Consumible
	24M7345	8	Consumible
T43	R66406	1	Consumible
	CE19089	1	Tapa

**Anexo XI.- Seguridad y ergonomía Lay-out**

PASILLOS Y SUPERFICIES DE TRANSITO			
Se ha previsto que el uso de mangueras e instalación de canalizaciones (aire, eléctricas, etc) no transcurre por zonas de paso y si no es técnicamente posible, se ha previsto su protección.			
En células automatizadas se evita el derrame de aceite en la manipulación (proceso en seco, soplado interior, etc.) y en caso contrario se ha previsto la colocación de TRAMEX			
Los caminos de rodillos tienen protegidos los extremos con protecciones de plástico y se colocan topes al final del recorrido para evitar la caída de la pieza			
Las pendientes son: \leq al 12% si la longitud es menor a 3 m \leq al 10 % si la longitud es menor a 10 m \leq al 8% para el resto de casos			
Los desniveles superiores a 50 cm. están protegidos por barandilla de 90 cm. y listón intermedio			
La célula dispone de dos accesos de 80 cm. de ancho cada uno			
ESPACIOS DE TRABAJO			
Existen 2 m ² (mínimo) de superficie libre por el trabajador			
Hay 0,60 m (mínimo) de ancho el acceso al puesto de trabajo			
Hay 0,80 m (mínimo) de distancia libre entre las maquinas y maquinas y paredes			
Hay 0,50 m (mínimo) para permitir el servicio de mantenimiento			
ESCALERAS			
Hay escaleras: Normales: huella $23 \leq h \leq 36$ cm y contrahuella $13 \leq c \leq 20$ cm Servicio: huella $h \geq 15$ cm y contrahuella $c \geq 25$ cm			
Si hay escaleras de 3 peldaños se ha colocado barandilla de 90 cm y listón intermedio			
MAQUINAS			
Las máquinas tienen la Declaración de conformidad / marcado CE			
Se coloca bandeja de retención debajo de maquinas con riesgo de fuga de líquidos			
Las pistolas de soplado tienen boquillas reductoras de ruido (no superen los 80 dB (A)) y las mangueras no excedan de la longitud necesaria para llegar a la zona de soplado			
Se instalan maquinas con un ruido inferior a 80 dB (A)			
Se han previsto la colocación de filtros adecuados por posibles humos, vapores			
HERRAMIENTAS			
Se dispone de armario para guardar las distintas herramientas de forma ordenada			
Las buterolas tienen protección superior antigolpeo			
Todas las herramientas de golpeo, están protegidas con suplemento antirruído y amortiguación (ejemplo: teflón)			
ALMACENAMIENTO			
Las estanterías para carga paletizada tienen protección antiembestida en las patas; se ha previsto el peso máx. que toleran y además se almacena carga respetando 1 m de distancia a techos, luminarias, instalaciones			
Las estanterías de material de manejo manual cumplen con las recomendaciones ergonómicas de carga.			
Se ha previsto que el almacenamiento de material alrededor de la célula no exceda los 2 m de altura			
INSTALACION ELECTRICA			
Todos los cuadros eléctricos tienen toma a tierra en puerta, partes activas			

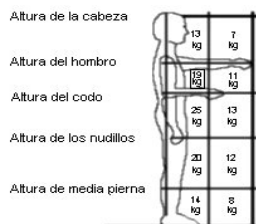
protegidas, seccionador candable y señal de riesgo eléctrico			
Los cuadros eléctricos con riesgo de ser golpeados, se han protegido con barandilla			

INSTALACIONES DE SUMINISTRO

Las conducciones están señalizadas con el código de colores y las llaves de corte son accesibles

ERGONOMIA

A) Manipulación manual de cargas: (mayor de 3 Kg.)



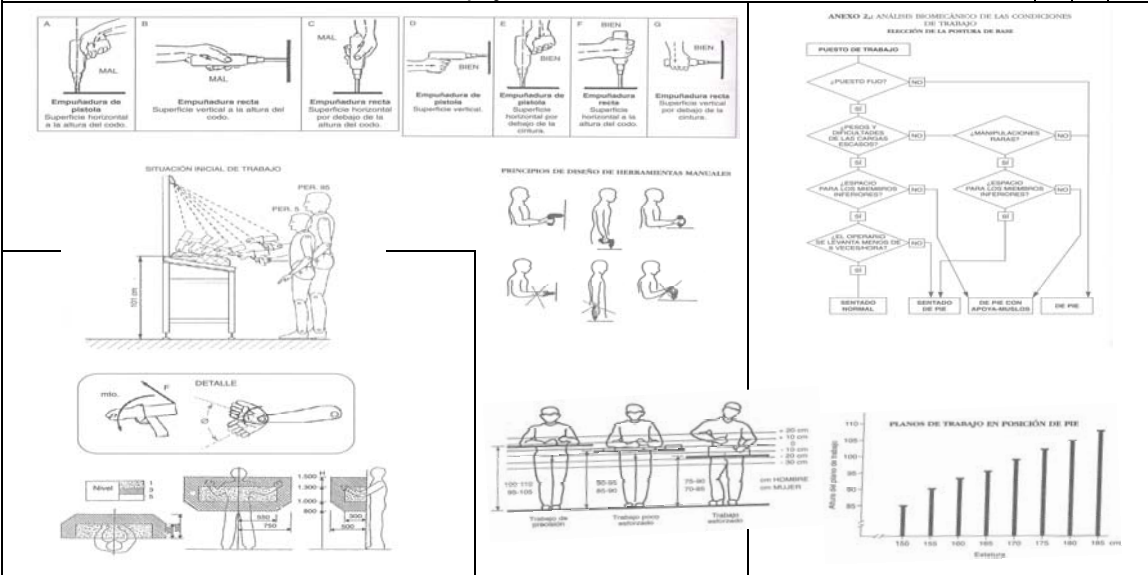
- Según alcances, se respeta el peso máximo conforme al
- Se evita manejar carga alejada del cuerpo
- Es posible hacer la dejada de la pieza en la maquina sin tener que realizar un control preciso.
- Se evita la torsión del tronco cuando se manipula carga.
- Se manejan pesos inferiores a 15 Kg.
- Hay caminos de rodillos o equivalente para evitar el transporte de cargas > 3 Kg.
- Las dimensiones de la carga es inferior a 60x50x60

B) Posturas forzadas /movimientos repetitivos:

Se evitan posturas de trabajo por encima de los hombros o a nivel de suelo
Se evita golpear con herramientas manuales (Buterolas, martillos, etc)
Se ha previsto un agarre ergonómico de las herramientas utilizadas: plano trabajo
Se ha determinado el alcance y la posición de los elementos de uso normal (botoneras, calibres, herramientas, taladros, selectores, etc
Se ha seleccionado el tipo de postura base del puesto de trabajo: de pie/sentado
Se ha tenido en cuenta el tipo de trabajo (de precisión, poco esforzado, etc) para el diseño del plano de trabajo

C) Sobreesfuerzos

Se evitan fuerzas de tracción o empuje elevadas





	SI	NC	NP
APARATOS Y EQUIPOS DE ELEVACION			
Los polipastos instalados son acordes a los pesos manejados en la célula			
Se han previsto posibles topes en el polipasto por golpes, invasión de pasillos, etc.			
Se ha previsto que al instalar un polipasto en la célula, el manejo de las piezas se realice de la mitad de la bandera hacia la punta			
Los ganchos utilizados tienen marcado CE e indican la carga Máx.			
INCENDIOS:			
La distancia desde cualquier parte de la célula al extintor mas cercano es \leq a 15 m			
Los extintores en la zona de la célula quedan accesibles y están señalizados			
PRODUCTOS QUIMICOS			
Los productos químicos utilizados están aceptados por el Dpto. de Seguridad y hay fichas			
Se ha previsto una zona de almacenamiento adecuada para ellos			
Los envases existentes para los distintos productos tienen la etiqueta identificativa			
Tª, HUMEDAD Y VELOCIDAD DEL AIRE			
La Tª esta entre 14° y 25° C (tanto en invierno como en verano)			
La velocidad del aire es $<$ a 0,25 m/s (prestar mas atención a puestos cercanos a puertas)			
ILUMINACION			
La iluminación es \geq 300 Lux en general ó \geq 500 Lux para montajes y mecanizados de precisión			
SEÑALIZACION			
Se ha definido espacio para la colocación de bastidor para la señalización de seguridad			
Los distintos desniveles del puesto están señalizados			

Anexo XII.- Lay-out

